



TUGAS AKHIR - SF 141501

**PENERAPAN *CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM*
(CWT) PADA DATA *SELF-POTENTIAL* STUDI KASUS
TANGGUL LUMPUR SIDOARJO**

**Rayhan Syauqiya Haf
NRP 1113100019**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U
Dr. Sungkono**

**JURUSAN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - SF 141501

**PENERAPAN *CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM*
(CWT) PADA DATA *SELF-POTENTIAL* STUDI KASUS
TANGGUL LUMPUR SIDOARJO**

**Rayhan Syauqiya Haf
NRP 1113100019**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U
Dr. Sungkono**

**JURUSAN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - SF 141501

**APPLIED CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM (CWT)
IN SELF-POTENTIAL DATA STUDY CASE AT SIDOARJO
MUD EMBANKMENT**

**Rayhan Syauqiya Haf
NRP 1113100019**

Advisors

**Prof. Dr. rer.nat .Bagus Jaya Santosa, S.U
Dr. Sungkono**

**Department of Physics
Faculty of Mathematics and Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

**PENERAPAN *CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM*
(CWT) PADA DATA *SELF-POTENTIAL* STUDI KASUS DI
TANGGL LUMPUR SIDOARJO**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Program S-1

Pada

Bidang Studi Geofisika

Program Studi S-1 Jurusan Fisika

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

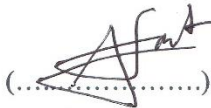
Oleh :

Rayhan Syauqiya Haf

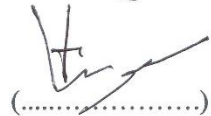
Nrp. 1113 100 019

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U (.....)



2. Dr. Sungkono



Surabaya, Juni 2017

**PENERAPAN *CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM*
(CWT) PADA DATA *SELF-POTENTIAL* STUDI KASUS
TANGGUL LUMPUR SIDOARJO**

Penulis : Rayhan Syauqiya Haf
NRP : 1113100019
Jurusan : Fisika FMIPA ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa,S.U
Dr. Sungkono

Abstrak

Peristiwa semburan panas lumpur Sidoarjo yang terletak di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo telah memasuki usia 11 tahun. Beragam peristiwa secara fisik telah terjadi seperti rusaknya tanggul yang terjadi akibat adanya saturasi air melalui retakan atau pori-pori tanggul. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengidentifikasi zona rembesan tanggul. Salah satunya dengan menerapkan metode Continuous Wavelet Transform (CWT) pada data Self-Potential (SP). Data yang diperoleh kemudian diolah dengan tujuan untuk mengetahui aplikasi metode CWT pada analisa data SP serta menentukan posisi dan kedalaman anomali. Dari hasil analisa data SP diketahui bahwa metode CWT dapat mengidentifikasi posisi dan kedalaman anomali tanggul Lumpur Sidoarjo serta didapatkan beberapa anomali yang dapat menyebabkan rembesan. Pada Lintasan 1 terdapat 2 anomali, Lintasan 2 terdapat 2 anomali, Lintasan 3 terdapat 3 anomali dan Lintasan 5 terdapat 1 anomali.

Kata kunci : *Anomali, Continuous Wavelet Transform, Poisson Kernel, Self-Potential,*

APPLIED CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM (CWT) IN SELF-POTENTIAL DATA STUDY CASE AT SIDOARJO MUD EMBANKMENT

Name : Rayhan Syauqiya Haf
NRP : 1113100019
Departement : Fisika FMIPA ITS
Supervisor : Prof.Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa,S.U
Dr. Sungkono

Abstract

Lapindo hot mudflow has been overflowing for over 11 years in district of Porong, Sidoarjo. A number of physical breakdown has occurred along the mud embankment mainly due to water saturation within the structure cracks and pores. Several method has already been deployed to identify the zone of seepage in the embankment. One of them use Continous Wavelet Transform (CWT) at the Self-Potential (SP) data. The acquired data are then processed to analyze whether or not the CWT method employed at the SP data could determine the position and depth of the anomaly. Based on the analyzed data, the method used in this research is able to ascertain both of the position and depth of the anomaly while also finding out several anomalies within the the tested region. There are 2 anomalies found on the line 1, 2 anomalies on the line 2, 3 anomalies on the line 3, and 1 anomaly in line 5.

Keywords : Continuous Wavelet Transform, Poisson Kernel, Self-Potential,

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir di jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul :

“PENERAPAN *CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM* (CWT) PADA DATA *SELF-POTENTIAL* STUDI KASUS DI TANGGUL LUMPUR SIDOARJO”

Penulis menyadari bahwa terselesainya penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, S.U selaku dosen pembimbing pertama tugas akhir dalam memberi bimbingan, dan wawasan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Sungkono selaku dosen pembimbing kedua yang sangat luar biasa dalam memberi dukungan, bimbingan, dan wawasan sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Keluarga tercinta, Ibunda Hanna Mandighofa, Ayahanda Mufarrih Haf, Adek perempuan Oca Haf dan Adek bungsu Ephin Haf yang selalu memberikan dukungan, semangat, nasehat dan doa restu demi terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng dan Dr. rer. nat. Eko Minarto, selaku Ketua Jurusan dan Seketaris Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana selama kuliah sampai terselesainya Tugas Akhir ini.
5. Teman satu bimbingan dan seperjuangan metode CWT yaitu : Shona Arum Fajartika, Devi Nurulfa, Shafitri Wulandari dan Fairus Salimatus Fajriah terimakasih atas semangat dan perjuangan yang telah kita lewati dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Segenap teman-teman Fisika 2012, 2013, 2014 dan 2015 yang telah memberikan dukungan terbaik untuk penulis dan mengisi keseharian penulis dengan keceriaan dan kerjasama selama masa belajar Penulis.
7. Seorang lelaki yang telah memberikan motivasi dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman SMA yaitu, Tivani Marsya A., Clarissa Prameswari, Gigi Ayu L., Maharani Amalia P., Rani Fitri K., dan Chyntia Bella Y.R.P. yang selalu mendengarkan keluhan dan memberikan dukungan, semangat, serta doa bagi penulis.
9. Teman-teman seperjuangan di Jurusan Fisika ITS yaitu, Meindy Fortunawati G., Aditya Yossita R., Wildatun Islamiyah., Devi Nurulfa, Shona Arum F., dan Aulia Ur'Rohman yang selama masa kuliah selalu membantu penulis dalam menyelesaikan matakuliah selama masa perkuliahan.
10. Keluarga Lab Geofisika; Mas Adi, Mas Yayan, Pak Kis, Getek, Aer, Nisrina, Azizah, Uunk, Dani, Vidya, Pambayun terimakasih atas fasilitas dan sharing ilmunya.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini terdapat kesalahan. Sehingga penulis meminta kritik dan saran pembaca yang dapat membantu untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Juni 2017
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN MUKA	i
COVER	ii
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan masalah	2
1.5 Manfaat penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian	5
2.2 Kestabilan Tanggul	6
2.3 Metode Potensial Diri (<i>Self-Potential</i>).....	8
2.3.1 Potensial Elektrokinetik.....	8
2.3.2 Potensial Difusi	10

2.3.3	Potensial Nernst.....	10
2.3.4	Potensial Mineralisasi.....	11
2.4	Eksplorasi Aliran Fluida Dalam Media Berpori dengan Metoda <i>Self-Potential</i>	12
2.5	Continuous Wavelet Transform	15
BAB III METODOLOGI		21
3.1	Peralatan dan Bahan	21
3.2	Prosedur Kerja.....	21
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Pengolahan Data menggunakan <i>Continuous Wavelet Transform</i> (CWT)	25
4.1.1	.. <i>Continuous Wavelet Transform</i> (CWT) untuk Analisa Posisi.....	25
4.1.2	<i>Continuous Wavelet Transform</i> (CWT) untuk Analisa Kedalaman	32
4.2	Analisa dan Interpretasi Data <i>Self-Potential</i> pada Setiap Lintasan Pengukuran	38
4.2.1	Analisa dan Interpretasi Data Pada Lintasan 1 (P79- 82) 38	
4.2.2	Analisa dan Interpretasi Data Pada Lintasan 2 (78- 79) 38	
4.2.3	Analisa dan Interpretasi Data Pada Lintasan 3 (P76- 77) 40	
4.2.4	Analisa dan Interpretasi Data Pada Lintasan 4 (P75A) 41	
4.2.5	Analisa dan Interpretasi Data Pada Lintasan 5 (Ptabendo).....	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		43

5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....		45
LAMPIRAN		47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Lokasi semburan lumpur panas Sidoarjo (Sudarsono dan Sujarwo, 2008)	5
Gambar 2.2. Jenis Kegagalan tanggul	7
Gambar 2.3. Potensial Elektrokinetik (Fagerlund and Heinson, 2003)	9
Gambar 2.4. Zona oksidasi sulfida yang berfungsi sebagai sel Galvanic (Ward dan Sill, 1983).....	12
Gambar 2.5. Hubungan metode SP dengan larutan elektrolit; (A). SP dari aliran larutan NaCl. (B). SP dari debit alir larutan NaCl (Nurhandoko dan Ahmad, 2001)	14
Gambar 2.6. Hubungan SP dengan debit alir dari air tawar (Nurhandoko dan Ahmad, 2001).....	15
Gambar 2.7. Poisson Kernel Family adalah ruang Fourier pada bagian real dan imajiner. Nilai V1 hingga V5 merupakan turunan vertikal sedangkan H1 hingga H5 merupakan turunan horizontal (Mauri dkk, 2011)	17
Gambar 2.8. Analisa wavelet kontinyu pada turunan ketiga secara vertikal (V3) dari satu dipol di kedalaman 100 m (Mauri dkk., 2011)	18
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	21
Gambar 4.1. Grafis hasil analisa posisi anomali dengan menggunakan panjang ekstrema 10%	29
Gambar 4.2. Grafis analisa posisi anomali dengan menggunakan panjang ekstrema 80% (a). Koefisien wavelet Real dan (b). Koefisien wavelet imajiner	30
Gambar 4.3. Grafis analisa posisi anomali dengan menggunakan panjang ekstrema 80% (a). Koefisien wavelet phase dan (b). Koefisien wavelet modulus	31
Gambar 4.4. Garis ekstrema koefisien real dan imaginary wavelet	33

Gambar 4.5. Nilai kekuatan relatif ekstrema pada turunan ketiga (a). koefisien wavelet real dan (b) koefisien wavelet imajiner.....	34
Gambar 4.6. Analisa wavelet kontinyu pada data SP dengan menggunakan turunan ketiga horisontal; (a) Analisa nilai wavelet real, (b) Analisa nilai wavelet imajiner, (c) Sinyal elektrik tanpa noise	37
Gambar 4.7. Perbandingan beda potensial (V) dengan kedalaman anomali pada Lintasan 1 Tanggul LUSI.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Input file format dari analisa sinyal.....	23
Tabel 4.1 Jenis-jenis <i>wavelet</i> pada Poisson Kernel	26
Tabel 4.2 Jumlah titik minimum yang harus mengandung sinyal yang dianalisis	27
Tabel 4.3 Hasil analisa kedalaman dan posisi sumber sinyal dengan metode CWT.....	35

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data <i>Self-Potential</i>	47
Lampiran 2. Analisa Kedalaman dan Posisi	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semburan lumpur panas Sidoarjo telah terjadi lebih dari 11 tahun semenjak semburan pertama yang terjadi pada tanggal 29 Mei 2006. Peristiwa tersebut terletak di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo. Titik semburan lumpur berlokasi sebelah barat daya sumur eksplorasi migas Banjarpanji 1. Beragam peristiwa secara fisik telah terjadi seperti rusaknya tanggul lumpur yang disebabkan oleh saturasi fluida melalui retakan atau pori-pori tanggul.

Beberapa metode telah diterapkan oleh para ahli untuk identifikasi zona rembesan tanggul, seperti metode *Self-Potential*. Metode *Self-Potential* merupakan salah satu metode geofisika pasif, dimana dalam proses akuisisi data tidak diperlukan medan gangguan buatan untuk memperoleh parameter yang dicari. Prinsip kerja dari metode *Self-Potential* adalah mengukur beda potensial alam yang muncul secara alami dari medium bawah permukaan. Potensial alami terjadi akibat ketidaksamaan atau perbedaan material-material, dan karena aliran fluida yang terdapat di bawah permukaan. Penyebab lain yang mengakibatkan terjadinya *self-potential* ialah perbedaan mineralisasi, reaksi dari kegiatan elektrokimia, aktivitas geothermal dan bioelektrik oleh tumbuh-tumbuhan (Revil and Jardani, 2013).

Salah satu hal yang terpenting dari masalah eksplorasi adalah mengestimasi bentuk dan kedalaman benda dibawah permukaan bumi. Berbagai macam metode telah dikembangkan untuk menentukan kedalaman dan bentuk struktur geometri benda yang tertimbun dari data *Self-Potential*. Berbagai banyak faktor yang nantinya mempengaruhi pemodelan yaitu kedalaman, kemiringan, dan intensitas arus. Selanjutnya model tersebut dapat divariasikan besar kecilnya sesuai dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Sampai saat ini telah banyak metode-metode yang dikembangkan dalam menganalisa anomali *self-potential*. Metode-metode tersebut secara umum terbagi pada dua kategori.

Kategori pertama meliputi 2D dan 3D dilanjutkan dengan pemodelan dan metode inversi. Kategori kedua meliputi metode geometri yang sederhana yaitu model bola, silinder horizontal dan silinder vertical (Syahrudin, 2011)

Analisa data metode self-potential, umumnya menggunakan proses inversi. Dalam proses inversi tersebut menggunakan asumsi bahwa anomali data self-potential berbentuk ideal yakni bola, patahan dan silinder. Kenyataannya bentuk anomali dari data self-potential di alam seringkali tidak ideal. Oleh karena itu, inversi data self-potential dengan asumsi bahwa anomali data berbentuk ideal, tidak cocok untuk analisa data self-potential di lapangan. Selanjutnya, Saracco et al (1994) dan Mauri et al (2010) mengusulkan metode inversi data self-potential berbasis Continuous Wavelet Transform (CWT) untuk mengidentifikasi posisi dan kedalaman bentuk anomali data self-potential untuk sembarang bentuk.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana aplikasi CWT pada analisa data SP?
2. Bagaimana hasil identifikasi rembesan air pada tanggul Lumpur Sidoarjo menggunakan CWT pada data SP?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui aplikasi CWT pada analisa data SP.
2. Mengidentifikasi rembesan air pada tanggul Lumpur Sidoarjo menggunakan CWT pada data SP.

1.4 Batasan masalah

Pada penelitian tugas akhir ini, memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Penentuan lokasi anomali pada suatu daerah survey dengan menggunakan metode SP dengan menggunakan metode CWT.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data SP.
3. Perangkat lunak yang digunakan adalah MATLAB R2014a.

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi berbagai pihak, sehingga didapatkan manfaat dari penelitian ini diantaranya:

1. Mengembangkan pengetahuan yang terkait dengan aplikasi metode *Continuous Wavelet Transform (CWT)* pada data *Self-Potential*

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang menggambarkan tentang gambaran umum dari penelitian ini. Bab I yang berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II berisikan tentang tinjauan pustaka yang berkaitan dengan dasar teori sebagai acuan dari penelitian. Bab III berisikan tentang metodologi. Bab IV berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasannya. Dan Bab V berisikan tentang kesimpulan dan saran.

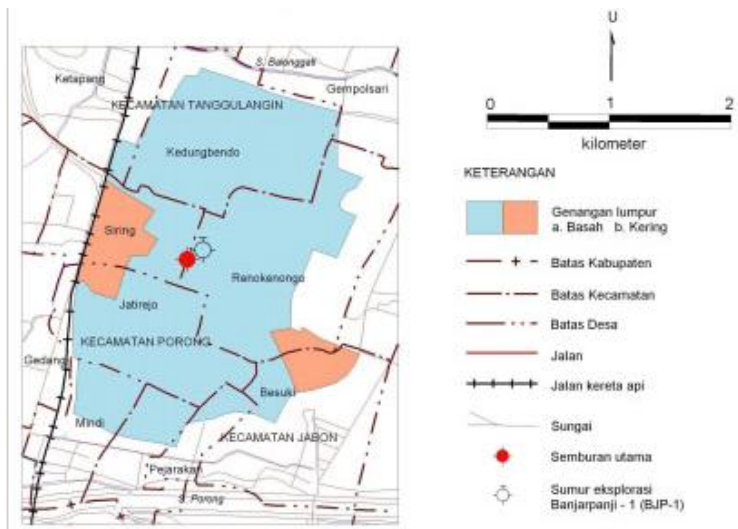
“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Semburan Lumpur Panas Sidoarjo, Jawa Timur, sudah berlangsung lebih dari sebelas tahun sejak pertama kali terjadi pada 29 Mei 2006. *Volume* semburan lumpur terus mengalami peningkatan selama beberapa tahun setelah semburan pertama terjadi. Titik semburan lumpur berlokasi di sekitar 200 m sebelah barat daya sumur eksplorasi migas Banjarpanji 1. Sejak semburan pertama, laju aliran lumpur meningkat dari 5000 m³/d menjadi 120.000 m³/d selama sebelas minggu pertama (periode 14 Agustus 2006 sampai 10 September 2006). Kemudian laju aliran lumpur meningkat hampir mencapai 180.000 m³/d pada bulan Desember 2006. Pada bulan Februari 2007, suhu aliran lumpur yang terukur



Gambar 2.1. Lokasi semburan lumpur panas Sidoarjo (Sudarsono dan Sujarwo, 2008)

pada jarak 20 meter dari kawah LUSI menunjukkan setinggi 97°C sedangkan suhu kawah lumpur tidak dapat diukur secara langsung, namun kemungkinan mencapai 100°C. Pada kedalaman 1700 meter pengukuran suhu mencapai 100°C dan suhu 138°C pada kedalaman 2676 meter. Hal tersebut menunjukkan gradien geotermal yang tinggi sebesar 42°C/km yang disebabkan karena posisinya semakin mendekati busur vulkanik (Mazzini et al., 2007). Endapannya berupa lumpur dan air dengan perbandingan 70% air dan 30% material padat dan telah merendam areal seluas 740 ha. Lahan yang terendam oleh lumpur panas terdiri atas perumahan, persawahan, pabrik, sarana dan prasarana. Lumpur yang merendam daerah tersebut tersusun dari kerikil, pasir, lanau serta lempung Formasi Pucangan atau Formasi Lidah berumur Plistosen dari kedalaman 750 hingga 1900 meter (Sato and Mooney, 1960).

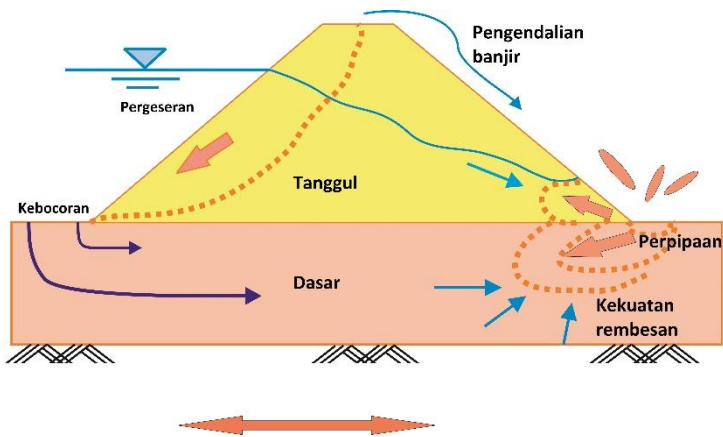
2.2 Kestabilan Tanggul

Tanggul merupakan suatu bidang yang berbentuk seperti tembok miring atau tegak lurus baik alami maupun buatan yang berfungsi untuk menahan air. Tanggul dibedakan menjadi dua macam yaitu *Earth Fill* dan *Rock Fill*. *Earth Fill* merupakan tanggul yang dibuat dari material material di daerah tersebut kemudian material tersebut dipadatkan. Sedangkan *Rock Fill* dibuat dari material yang ada di sekitar daerah tersebut dan juga material lain dalam bentuk beton. Berdasarkan proses terbentuknya tanggul dibedakan menjadi tiga jenis yaitu tanggul alami, tanggul buatan dan tanggul komposit (Fell et al, 2005).

Tanggul LUSI merupakan tanggul buatan dengan komposisi alami yang dipadatkan (*earth fill*). Tanggul ini dibangun untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh erupsi lumpur. Tanggul LUSI sangat rentan terhadap kegagalan-kegagalan yang dapat menyebabkan *collapse*.

Menurut Sungkono (2006), terdapat tiga hal yang menyebabkan ketidakstabilan pada tanggul LUSI antara lain, deformasi secara vertical dan horizontal, erupsi fluida dalam jumlah yang cukup

besar dan likuifaksi pada tanggul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Deformasi merupakan perubahan bentuk atau ukuran dari suatu objek baik secara vertikal maupun horizontal. Deformasi pada tanggul dapat menyebabkan retakan pada tanggul akibat dari pergerakan tanggul secara terus menerus. Lumpur yang dikeluarkan dalam jumlah yang besar mengakibatkan terjadinya limpasan (overtopping) sehingga terjadi rembesan fluida pada tanggul (seepage). Fluida tersebut akan berusaha menembus lapisan tanah sehingga terjadi penurunan tanah atau pasir (sand boiling), pasir yang lepas akibat saturasi fluida tersebut dinamakan dengan pasir hisap (*quick sand*). Penurunan tanah (sand boiling) dan *quick sand* mengakibatkan suatu getaran gempa yang menjalar pada tanggul sehingga terjadi proses likuifaksi atau berkurangnya kekuatan dan kekakuan tanggul tersebut. Selain itu akibat dari erupsi fluida tersebut dapat mengakibatkan longsoran (*sliding*).



Gambar 2.2. Jenis Kegagalan tanggul

Tanggul LUSI sangat rentan terhadap kegagalan sehingga dapat menimbulkan keruntuhan (*collapse*). Apabila tanggul mengalami keruntuhan maka akan berdampak buruk bagi lingkungan sekitar. Oleh karena itu perlu dilakukan monitoring secara berkala terkait kestabilan tanggul tersebut. Metode Geofisika dapat digunakan

untuk mengetahui tingkat kestabilan tanggul. Metode ini dipilih karena merupakan metode *non destructive* dan hasilnya akurat. Beberapa hal yang perlu diperhatikan ketika mengevaluasi tanggul yaitu, perlu pemahaman secara fisis terhadap permasalahan tanggul serta mengetahui tahapan dalam proses evaluasi.

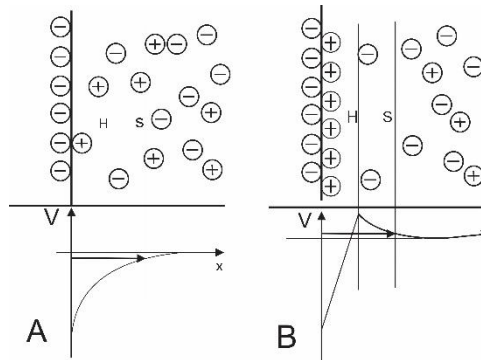
2.3 Metode Potensial Diri (*Self-Potential*)

Metode potensial diri (*Self-Potential*) merupakan salah satu metode geofisika pasif yang prinsip kerjanya dengan mengukur tegangan statis alam (*static natural voltage*) yang berada pada titik-titik dipermukaan tanah. Metode potensial diri (*Self-Potential*) dikatakan metode yang pasif karena untuk mendapatkan informasi bawah permukaan tanah dapat dilakukan melalui pengukuran tanpa perlu menginjeksi arus listrik (Revil and Jardani, 2013). Pengukuran dengan menggunakan metoda eksplorasi *self-potensial* telah diterapkan dalam berbagai hal, misalnya eksplorasi geotermal, eksplorasi hidrotermal, study vulkanologi untuk mendeteksi "*thermal up-flow zone*", study lingkungan dan geoteknik untuk mendeteksi aliran dalam tanah (Syahrudin, 2011).

2.3.1 Potensial Elektrokinetik

Salah satu sumber potensial secara alami adalah "streaming potential" (Potensial Elektrokinetik) yang muncul dari aliran fluida air di tanah (groundwater) melalui medium berpori. Potensial Elektrokinetik (PE) dalam struktur tanah dapat disebabkan oleh aliran fluida air yang melewati pori-pori suatu medium sehingga terjadi pertukaran ion antara fluida dan partikel-partikel tanah dalam struktur tersebut. PE bila dihubungkan dengan adanya perbedaan gradien tegangan (piezometrik head), konduktivitas fluida, viskositas fluida dan potensial elektrik di antara dua lapisan (phase padat dan cair), ini menghasilkan efek anomali PE yang relatif kecil (negatif). Oleh karena itu, diperlukan alat ukur SP seperti multimeter yang mempunyai kepekaan atau impedansi yang tinggi (mV) (Fagerlund and Heinson, 2003).

Potensial Elektrokinetik (PE) pada Gambar 2.3, adalah model ”*Electrical Double Layer*” (EDL). EDL dibentuk dari phase antara sebuah padatan dan cairan yang ditentukan oleh sifat-sifat elektrokinetik dari bahan padat. Helmholtz mengemukakan model teoritik EDL untuk pertama kali, dimana lapisan yang diam mengabsorpsi ion-ion cairan (*liquid*). Kemudian, EDL dikembangkan oleh Gouy-Chapman sebagai ”*stern layer*” dan ”*diffuse layer*” (Fagerlund and Heinson, 2003). *Stern layer* adalah lapisan yang diam (*rigid*) menyerap ion-ion dari *diffuse layer* sebagai lapisan yang bergerak karena aliran fluida.



Gambar 2.3. Potensial Elektrokinetik (Fagerlund and Heinson, 2003)

Potensial listrik yang terjadi dari EDL adalah zeta potensial (ζ). Adanya PE yang terjadi di bawah permukaan dapat dideteksi di permukaan yang dikenal dengan anomali *Self Potential* (SP). Anomali SP menunjukkan adanya kecepatan perembesan fluida air dalam medium (Fagerlund and Heinson, 2003).

Persamaan potensial elektro kinetik Helmholtz - Smoluchowski dapat dilihat pada persamaan berikut ini:

$$\Delta V = \frac{\zeta \varepsilon}{\eta \sigma_w} \Delta P \quad 2.1$$

dengan ΔV merupakan potensial elektrokinetik (mV, ε dan η adalah konstanta dielektrik dan dinamik viskositas dari tanggapan elektrolit, ζ menotasikan potensial antara layer, ΔP menotasikan perbedaan tekanan (Nm²), dan σ_w menotasikan konduktifitas fluida. Hukum Helmholtz's yang dijelaskan oleh Fagerlund dan Heinson (2003) adalah aliran listrik terjadi karena gradien hidrolik dan kuantitas yang dikenal dengan koefisien kopling elektrofiltrasi (CE), yang merepresentasikan sifat fisis dan kelistrikan dari elektrolit dan dari jaringan melalui medium elektrolit yang terlewati. Potensial akan cenderung meningkat secara positif dengan arah aliran air sebagai muatan listrik yang mengalir pada arah yang berkebalikan. Dengan konsentrasi muatan negatif sulit mengalir dan dapat menghasilkan anomali *Self Potential* (Fagerlund and Heinson, 2003).

2.3.2 Potensial Difusi

Potensial yang muncul jika konsentrasi elektrolit dalam tanah bervariasi secara lokal dan sebagai akibat dari perbedaan mobilitas anion dan kation dalam larutan yang konsentrasinya berbeda disebut potensial difusi (*liquid junction atau diffusion potential*). Potensial ini dideskripsikan sebagaimana berikut;

$$E_d = \frac{RT(I_a - I_c)}{nF(I_a + I_c)} \ln\left(\frac{c_1}{c_2}\right) \quad 2.2$$

dengan I_a adalah mobilitas anion (+ve) dan I_c adalah kation (-ve), R konstanta gas (8,314 JK⁻¹ mol⁻¹), T adalah temperatur absolut (K), n ion valensi, F konstanta Faraday (96487 Cmol⁻¹), c_1 dan c_2 konsentrasi larutan (mol) (Sato and Mooney, 1960).

2.3.3 Potensial Nernst

Potensial *ernst (shale)* terjadi ketika muncul perbedaan potensial antara dua logam identik yang dicelupkan dalam larutan

yang homogen dan konsentrasi larutan masing-masing elektroda berbeda. Besarnya potensial ini diberikan oleh persamaan potensial difusi dengan syarat bahwa $I_a = I_c$.

$$E_d = \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{c_1}{c_2}\right) \quad 2.3$$

Sato dan Mooney (1960) menjelaskan bahwa kombinasi antara potensial difusi dan potensial *nernst* disebut potensial elektrokimia atau diri atau potensial statik (Sato and Mooney, 1960).

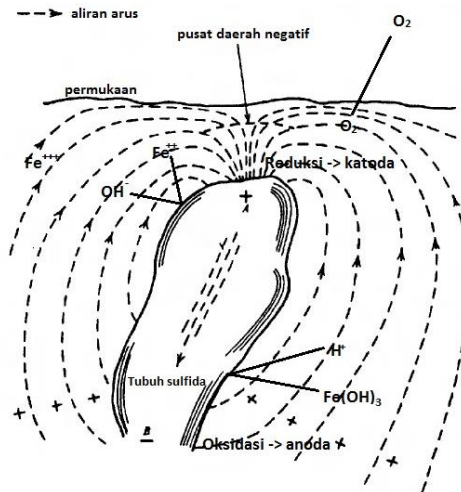
2.3.4 Potensial Mineralisasi

Pada tahun 1830, Robert Fox adalah orang yang pertama kali menemukan dan menggunakan metode Potensial Mineralisasi, namun mekanisme dari polarisasi spontan pada daerah mineral belum seluruhnya dimengerti, meskipun ada berbagai teori dikembangkan untuk mengungkapkannya.

Sato dan Mooney (1960) mengusulkan teori yang lengkap dari potensial mineralisasi, yang mengatakan bahwa pada tubuh mineral terjadi reaksi setengah sel elektrokimia dimana anoda berada di bawah air tanah. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, maka anoda merupakan sumber arus sulfida yang berada di bawah permukaan tanah, sulfida mengalami oksidasi dan reduksi yang diakibatkan oleh H_2O dan O_2 di dalam tanah.

Elektron ditransfer melalui tubuh mineral dari pereduksi yang terdapat di bawah muka air tanah menuju pengoksidasi di atas muka air tanah (dekat permukaan). Tubuh mineral sendiri tidak berperan secara langsung dalam reaksi elektrokimia, tetapi bertindak sebagai konduktor untuk mentransfer elektron. Jadi prinsip dasarnya adalah potensial mineralisasi timbul jika kondisi lingkungan didukung oleh adanya proses elektrokimia sehingga dapat menimbulkan potensial elektrokimia di bawah permukaan tanah .

Teori Sato dan Mooney (1960) mengasumsikan bahwa daerah sulfida seharusnya merupakan penghantar yang baik untuk dapat membawa elektron dari suatu kedalaman ke daerah dekat permukaan tanah



Gambar 2.4. Zona oksidasi sulfida yang berfungsi sebagai sel Galvanic (Ward dan Sill, 1983)

Sato and Mooney (1960) menggambarkan jika aliran ion ion dan elektron mengalir disekitar dan didalam sulfida seperti yang tampak pada Gambar 2.2. Pada Gambar 2.2 juga menjelaskan bahwa elektron ditransfer melalui tubuh mineral dari pereduksi yang terdapat dibawah permukaan air tanah menuju pengoksidasian di atas muka air tanah (dekat permukaan). Tubuh mineral tidak berperan secara langsung dalam reaksi elektrokimia namun bertindak sebagai konduktor yang mentransfer elektron. Sehingga prinsip dasar dari potensial mineralisasi adalah nilai potensial akan muncul jika kondisi lingkungan didukung oleh adanya proses elektrokimia dibawah permukaan tanah.

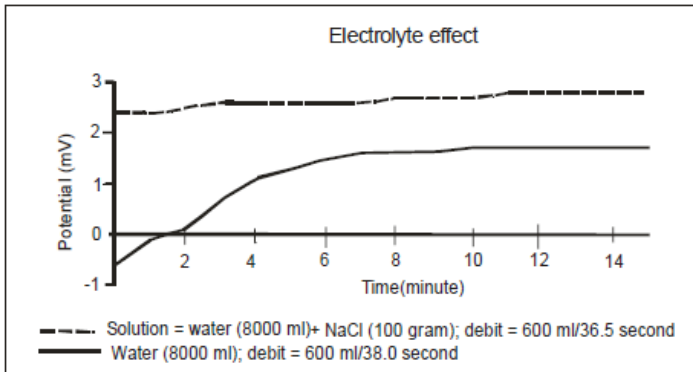
2.4 Eksplorasi Aliran Fluida Dalam Media Berpori dengan Metoda *Self-Potential*

Streaming potential atau *electrokinetic potential* merupakan salah satu sumber potensial alami yang muncul dari aliran fluida melalui pori-pori tanah. Oleh karena itu, potensial elektrokinetik dapat digunakan untuk eksplorasi aliran fluida dalam media berpori yang merupakan teknik baru dalam eksplorasi geofisika (Kim dkk., 2004). Aplikasi metode *self-potential* dalam “*geotechnical engineering*” untuk studi aliran fluida telah dilakukan oleh Moore dkk pada tahun 2004. Eksplorasi metode *self-potential* untuk mendeteksi rongga telah dilakukan oleh Vichabian dan Frank (2002). Selain itu, studi metode *self-potential* untuk mengidentifikasi karakteristik aliran fluida telah dilakukan oleh Nurhandoko dan Ahmad pada tahun 2001. Eksplorasi aliran fluida dalam media berpori dengan metoda *self-potential* akan dilakukan melalui pemodelan fisik yang diharapkan dapat dianalisis secara kuantitatif pergerakan fluida dalam media berpori. Pemodelan ini dilakukan untuk investigasi anomali dari metode *self-potential* dalam kaitannya dengan kecepatan aliran fluida dalam media berpori, sehingga dapat dihitung debit aliran fluida yang mengalir dalam pori-pori tanah. Investigasi selanjutnya adalah kaitan antara anomali metode *self-potential* dengan pola aliran fluida dalam media berpori yang dapat digunakan untuk memperkirakan aliran fluida yang dominan dalam medium (Syahrudin, 2011).

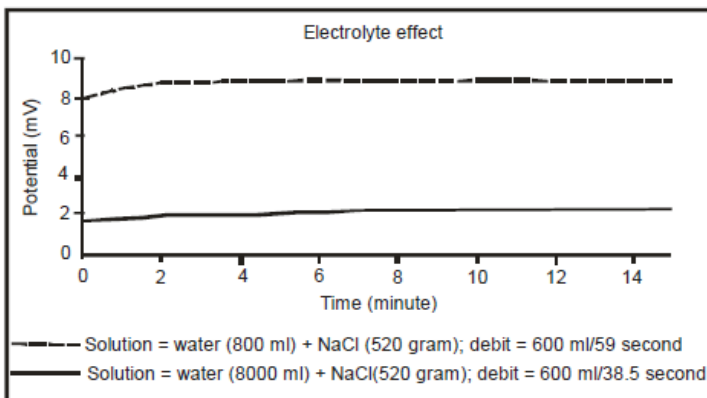
Pada tahun 2001, Nurhandoko dan Ahmad telah melakukan studi metoda *self-potential* untuk mengidentifikasi karakteristik aliran fluida dengan pemodelan fisik. Penelitian *self-potential* dilakukan untuk melihat bagaimana karakteristik aliran fluida yang mempengaruhi hasil pengukuran. Selanjutnya, studi tersebut dilakukan untuk menambah pemahaman secara menyeluruh tentang bagaimana potensial diri ditimbulkan disuatu lapangan. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan oleh Nurhandoko dan Ahmad dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.

Pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6 hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Nurhandoko dan Ahmad (2001), memperlihatkan suatu fenomena yang menarik tentang potensial diri. Dari hasil percobaan ditunjukkan bahwa potensial diri berhubungan dengan

kandungan elektrolit dan debit aliran fluida. Kandungan elektrolit yang lebih besar akan menimbulkan potensial diri lebih besar. Demikian pula, debit aliran fluida yang lebih besar juga akan menimbulkan potensial diri yang lebih besar.

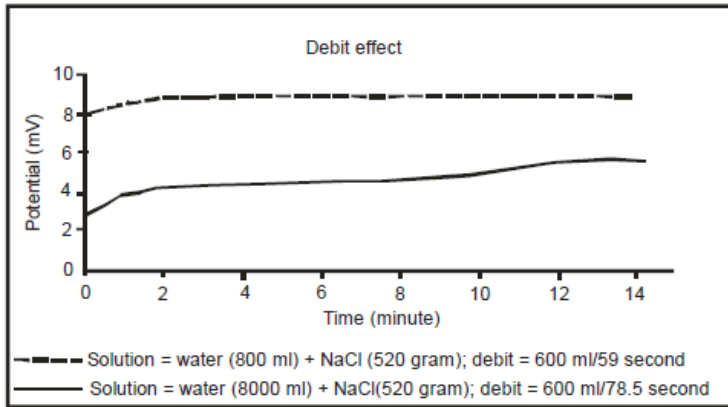


(A)



(B)

Gambar 2.5. Hubungan metode SP dengan larutan elektrolit; (A). SP dari aliran larutan NaCl. (B). SP dari debit alir larutan NaCl (Nurhandoko dan Ahmad, 2001)



Gambar 2.6. Hubungan SP dengan debit alir dari air tawar (Nurhandoko dan Ahmad, 2001)

2.5 Continuous Wavelet Transform

Semenjak tahun 1980an, *Continuous Wavelet Transform* telah memiliki peranan penting dalam meninjau analisa pengolahan sinyal. Pada akhir tahun 1990-an, pekerja *ground-breaking*, meningkatkan pemahaman tentang respon sinyal dari sumber medan potensial (gravity, magnetik dan elektrik) dengan menciptakan perumusan *Poisson kernel family*, yang memungkinkan perhitungan kedalam sumber sinyal yang akan diukur (Moreau dkk., 1997). Sedangkan analisa menggunakan *traditional wavelet* (seperti Morlet, Mexican hat) menjadi lebih luas dalam ilmu pengetahuan dibandingkan dengan perumusan *Poisson kernel family* karena perumusan tersebut penggunaannya hanya terbatas pada data *geoscience* untuk data medan potensial (Goupillaud dkk, 1984; Grossmann and Morlet, 1984; Tchamitchian, 1989). Namun, banyak penelitian yang telah menunjukkan pentingnya perumusan *Poisson kernel family* pada transformasi wavelet kontinyu yang nyata dan kompleks (Saracco, 1994).

Transformasi wavelet kontinyu (CWT), adalah konversi sinyal apapun ke dalam matriks yang terdiri dari beberapa produk skalar

dalam bentuk transformasi Fourier, dimana hasil yang didapat menunjukkan sinyal yang dihasilkan sesuai atau presisi dengan analisa wavelet dapat terlihat pada Gambar 2.7.

Pada analisa sinyal dan analisa wavelet memiliki karakteristik masing-masing (misalnya: bentuk, struktur dan amplitudo), analisa yang pertama oleh kedua memberikan karakteristik yang unik, hal tersebut memungkinkan analisa struktur karakterisasi sinyal (misalnya: frekuensi konten dan struktur) dapat terlihat pada Gambar 2.8. Perumusan matematis dari transformasi wavelet, $L(b,a)$, untuk sinyal, s , oleh wavelet, g , dapat digambarkan sebagai berikut (Grossmann and Morlet, 1984; Moreau dkk, 1997):

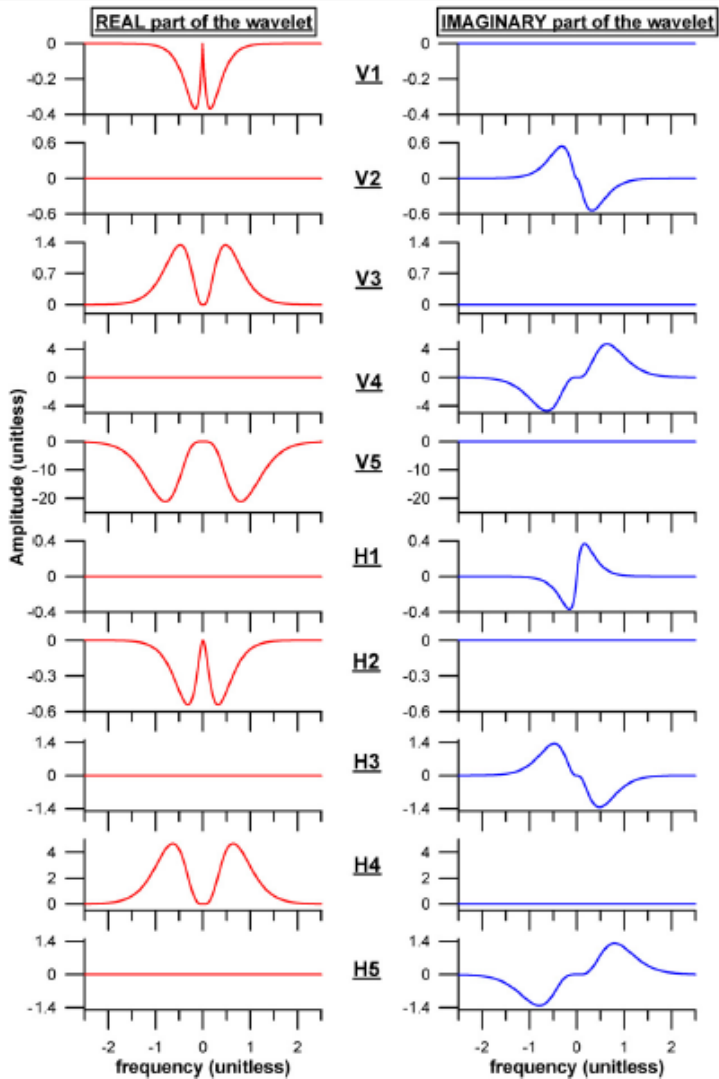
$$L_{(b,a)s} = a^{-\gamma} \int_x g_n \left(\frac{[x-b]}{a} \right) s(x) dx^\gamma \quad 2.4$$

merupakan

$$q = n + \gamma + a$$

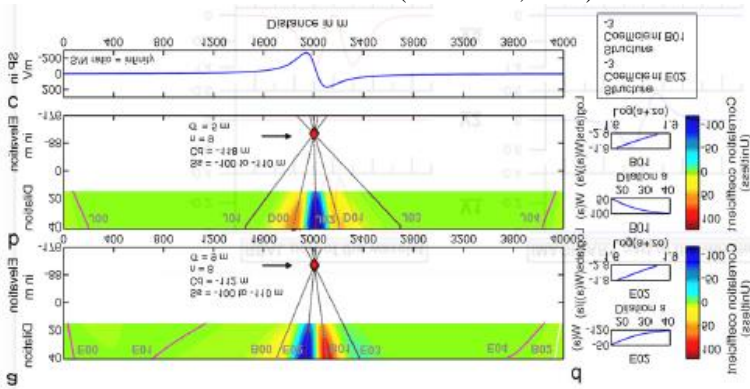
urutan dimensi ruang, $\gamma \in \mathbb{N}$, b merupakan parameter translasi dan a merupakan parameter dilatasi. Parameter dilatasi berkaitan dengan frekuensi yang mana dilatasi rendah berkorelasi dengan frekuensi tinggi dan begitu juga sebaliknya. Dengan demikian analisa wavelet dapat digunakan sebagai proses pemfilteran data. Urutan derivatif, $n \in \mathbb{N}$, sinyal juga memiliki urutan distribusi homogen, $\alpha \in \mathbb{N}$. Dan ukuran sinyal, $x \in \mathbb{N}$. Dengan X mempresentasikan jumlah elemen sinyal yang di analisa. Studi ini menerapkan CWT didalam domain frekuensi untuk meningkatkan efisiensi, bukan dalam domain spasial. Dalam domain frekuensi, persamaan umum turunan horizontal rangka n dari *Poisson kernel family*, $H_n(u)$ (Moreau dkk, 1999; Moreau dkk, 1997; Saracco, 1994) sebagaimana berikut:

$$H_n(u) = (2\pi u)^n \exp(-2\pi|u|) \quad 2.5$$



Gambar 2.7. Poisson Kernel Family adalah ruang Fourier pada bagian real dan imajiner. Nilai V1 hingga V5 merupakan turunan

vertikal sedangkan H1 hingga H5 merupakan turunan horizontal (Mauri dkk, 2011)



Gambar 2.8. Analisa wavelet kontinyu pada turunan ketiga secara vertikal (V3) dari satu dipol di kedalaman 100 m (Mauri dkk., 2011)

dengan u menotasikan bilangan gelombang dari variabel spasial, x mempresentasikan domain frekuensi dan n menjadi urutan turunan, seperti $n \in \mathbb{N}$. Demikian pula, jika menggunakan transformasi Hilbert dari *wavelet* horisontal, persamaan umum turunan vertikan *poisson kernel family*, $V_n(u)$, adalah

$$V_n(u) = -2\pi |u| (2\pi i u)^{(n-1)} \exp(-2\pi |u|) \quad 2.6$$

dengan u merupakan transformasi Fourier dari variabel spasial, x pada frekuensi dominan dan n sebagai perintah turunan.

Seperti yang telah dijelaskan dalam penelitian-penelitian sebelumnya (misalnya, Moreau et al., 1997), potensial sinyal lapangan dapat dianalisis oleh salah satu wavelet (V_n , H_n). Hal tersebut memungkinkan untuk mengestimasi baik kedalaman, z , dan keterlibatan distribusi homogen, a , dan pembangkit sumber dari sinyal yang dianalisa. Sumber kedalaman dapat dihitung melalui perpotongan garis ekstrem konvergen (Gambar 2.8). untuk melakukannya secara akurat, dalam menganalisa wavelet harus

dilakukan dengan urutan dervatif, hal tersebut memiliki hasil yang lebih baik daripada menggunakan distribusi sumber homogen (Mauri dkk, 2011).

$$n \geq -(1+\alpha) \quad 2.7$$

Distribusi homogen yang berasal dari sumber juga bergantung pada dimensi ruang dimana sinyal tersebut dianalisa. Pada ruang 2D, sinyal dari data *self-potential* atau data magnetik, distribusi homogen dari singularitas terdeteksi oleh MWT (*Multiscale Wavelet Transform*) yang mana dapat mewakili dipole ($\alpha = -3$) atau monopole ($\alpha = -2$). Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa aliran air dapat dianggap berperilaku sebagai monopole maupun dipole ketika kapasitas untuk menghasilkan listrik telah terselidiki (Moreau et al., 1997; Saracco, 1994). Pada kasus sinyal gravity distribusi homogen dari singularitas terdeteksi sebagai bentuk sumber (Martelet et al., 2001). Magnetik dipole memiliki distribusi homogen ($\alpha = -3$). Distribusi homogen ditentukan dari kemiringan ekstrem garis konvergen menuju sumber (Gambar 2.8).

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

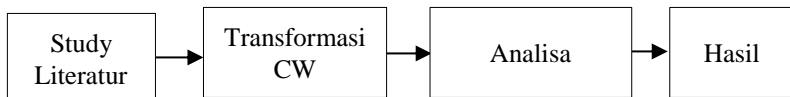
BAB III METODOLOGI

3.1 Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa perangkat lunak, yaitu Matlab R2009a, Ms. Excel 2010 dan Ms. Word 2010. Masing-masing perangkat lunak tersebut memiliki fungsi yang berbeda. Matlab R2009a merupakan sebuah program yang digunakan untuk menganalisa dan komputasi numerik serta suatu bahasa pemrograman matematika. Dalam penelitian ini program matlab membantu proses analisa data dari metode CWT. Ms. Excel 2010 merupakan sebuah aplikasi lembar kerja *spreadsheet* yang digunakan untuk membantu peneliti dalam mengolah data. Ms. Word 2010 untuk membantu membuat laporan hasil penelitian.

3.2 Prosedur Kerja

Pada penelitian tentang penerapan *Continuous Wavelet Transform* (CWT) pada data *Self-Potential*, dengan diagram alir seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Secara detail, Gambar 3.1 dapat di deskripsikan seperti berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan pertama untuk melakukan penelitian ini yaitu dengan mengumpulkan literatur-literatur yang berhubungan dengan metode *Self-Potential* dan pemfilteran data menggunakan *Continuous Wavelet Transform* (CWT). Studi literatur ini dilakukan dengan cara membaca beberapa *text book*, jurnal-jurnal internasional terakreditasi, serta thesis, dan disertasi dari universitas terkemuka.

2. Transformasi *Continuous Wavelet*

Tujuan dilakukannya transformasi *Continuous Wavelet* untuk mengetahui posisi dan kedalaman anomali. Identifikasi tersebut dilakukan dengan menggunakan MATLAB 2009a dengan menggunakan *Source Code*. *Source Code* metode CWT dikembangkan oleh Mauri dkk (2011). *Source Code* tersebut terbagi menjadi dua macam; yang pertama yaitu MWTmatanalyse.m dan MWTmatdepth.m. Pada *Source Code* MWTmatanalyse.m, didalamnya meliputi persamaan *wavelet*, transformasi kontinyu dan filter extrema. Sedangkan pada *Source Code* MWTmatdepth.m, didalamnya meliputi regresi linear, perhitungan kedalaman sumber dan perhitungan koefisien struktur.

a. *Continuous Wavelet Transform* untuk Analisa Posisi

Analisa posisi anomali pada metode CWT dilakukan dengan menggunakan *Source Code* MWTmatanalyse.m dengan menggunakan satu file masukan dalam bentuk *spreadsheet* excel (Ms Excel 95 sampai 2003). *Source Code* tersebut hanya akan membaca tiga kolom pertama dengan urutan jarak, topografi dalam meter dan sinyal medan potensial (Tabel 1). Dengan unit untuk jarak dan topografi dalam bentuk metrik sedangkan data lapangan potensial menggunakan data yang mewakili sinyal yang akan dianalisa.

Analisa posisi anomali ini akan menghasilkan tiga file diantaranya; matriks koefisien *wavelet* dalam format (.dat), file parameter dalam format (.txt) dan file ekstrema dalam format (.csv). Dua baris pertama dari file-file ini mencakup informasi mengenai jumlah dan panjang masing-masing ekstrem (negatif dan positif).

b. *Continuous Wavelet Transform* untuk Analisa Kedalaman

Analisa kedalaman anomali pada *Continuous Wavelet Transform* dilakukan dengan menggunakan *Source Code* MWTmatdepth.m. Analisa ini memerlukan empat file masukan, dimana tiga diantaranya merupakan file keluaran dari proses analisa posisi anomali. File keluaran mencakup semua perhitungan kedalaman dengan informasi yang terkait dengan masing-masing

ekstrema yang dipilih. Gambar keluaran dari matriks koefisien *wavelet* dengan penggambaran kedalaman dan penggambaran struktur koefisien.

Tabel 3.1 Input file format dari analisa sinyal

0	0	-3,56970976
1	0	-0,52142847
2	0	2,10893657
3	0	4,39183373
4	0	6,39771138
5	0	8,19701790
6	0	9,86020167
7	0	11,45771106
8	0	13,05999443
9	0	14,73750018

3. Interpretai

Analisa ini dilakukan dengan menginterpretasikan hasil pengolahan analisa posisi dan kedalaman anomali dengan menggunakan metode *Continuous Wavelet Transform*. Pada analisa kedalaman akan didapatkan nilai kedalaman serta posisi dari titik perpotongan antara dua extrema. Dari perpotongan kedua extrema tersebut selanjutnya dianalisa jenis anomali yang terdapat pada daerah tersebut

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini mendeskripsikan tentang analisis dan pembahasan hasil penelitian.

4.1 Pengolahan Data menggunakan *Continuous Wavelet Transform* (CWT)

Continuous Wavelet Transform (CWT) merupakan salah satu metode transformasi yang dapat digunakan untuk menentukan kedalaman, struktural order dan informasi phase yang berkaitan dengan sumber yang menghasilkan data SP. Analisa CWT didasarkan pada transformasi wavelet kontinyu yang diterapkan pada bidang potensial (*Self-Potential*, Gravitasi dan Magnetik) menggunakan *wavelet* Poisson Kernel Family.

4.1.1 *Continuous Wavelet Transform* (CWT) untuk Analisa Posisi

Untuk menganalisa posisi sumber anomali dilakukan dengan menggunakan satu file masukan dalam bentuk *spreadsheet* excel, yang berisi jarak, topografi dalam meter dan data medan potensial (seperti pada Tabel 3.1). Selain itu, dalam menganalisa posisi sumber anomali juga dilakukan dengan memasukkan jenis data yang digunakan, jenis *wavelet*, serta nilai parameter dilasi, a , (minimal dan maksimal). Terdapat 10 jenis *wavelet* Poisson Kernel Family yang dapat digunakan, yaitu 5 turunan secara horisontal dan 5 turunan secara vertikal (Tabel 4.1 dan Gambar 2.7). Sedangkan batas rentang dilasi dan jumlah dilasi yang digunakan disesuaikan dengan data yang dianalisa. Hal ini berguna untuk memfokuskan analisa pada area (frekuensi) yang mewakili struktur sinyal dan dapat mengoptimalkan perhitungan kedalaman sumber anomali. Pemilihan jenis *wavelet* dan parameter dilasi sangat penting untuk mendapatkan hasil transformasi *wavelet* kontinyu yang akurat.

Tabel 4.1 Jenis-jenis *wavelet* pada Poisson Kernel

Turunan	Urutan	Nama	Imajiner	Real
Horisontal	1	H1	Ya	Tidak
Horisontal	2	H2	Tidak	Ya
Horisontal	3	H3	Ya	Tidak
Horisontal	4	H4	Tidak	Ya
Horisontal	5	H5	Ya	Tidak
Vertikal	1	V1	Tidak	Ya
Vertikal	2	V2	Ya	Tidak
Vertikal	3	V3	Tidak	Ya
Vertikal	4	V4	Ya	Tidak
Vertikal	5	V5	Tidak	Ya

Dalam menganalisa posisi sumber anomali pada penelitian ini menggunakan batas rentang dilatasi minimum sebesar 1 dan batas rentang dilatasi maksimum sebesar 5 serta angka dilatasi sebesar 500. Penggunaan rentang dilatasi minimal sebesar 1 dan maksimal sebesar 5 sebab jumlah titik yang digunakan pada penelitian ini tidak lebih atau sama dengan 576 titik (Tabel 4.2). Dalam penelitian ini menggunakan 6 jenis *wavelet* yaitu 3 turunan secara horisontal dan 3 turunan secara vertikal. Hal ini digunakan untuk mengetahui nilai ketidakpastian sumber anomali.

Selain itu, untuk menganalisa posisi dengan menggunakan metode CWT, kontrol pertama yang perlu dilakukan dan terpenting dengan meninjau teorema Nyquist-Shanon, yang mana metode CWT didasarkan pada struktur *wavelet* yang dianalisis. Resolusi frekuensi yang buruk dari *wavelet* akan menghasilkan matriks koefisien *wavelet* yang kurang akurat, sehingga perhitungan kedalaman juga kurang akurat. Sebagaimana yang telah ditentukan oleh teorema Nyquist-Shannon, *sampling* dari frekuensi *wavelet* yang dianalisis harus sama dengan atau lebih dari dua kali yang diperlukan dalam menentukan *wavelet* pada frekuensi tinggi. Oleh karena itu, *Source Code* CWT dikembangkan sedemikian rupa

sehingga analisa *wavelet* pada dilatasi minimum berada pada frekuensi tinggi.

Tabel 4.2 Jumlah titik minimum yang harus mengandung sinyal yang dianalisis

Dilatasi	Jumlah titik
1	58
5	286
10	576
15	858
20	1092
25	1502
30	1716
35	2018
40	2307
45	2596
50	2886
55	3175
60	3464

Untuk menghindari kesalahan menganalisa posisi sumber anomali yang diakibatkan karena rentang dilatasi yang terlalu kecil, algoritma metode CWT tersebut secara otomatis menolak sinyal input yang tidak dapat mendukung dilatasi maksimum. Dalam proses analisa posisi sumber anomali, tidak ada batasan tertentu untuk jumlah titik maksimal. Namun semakin banyak jumlah data semakin besar juga data matriks yang dihasilkan dan waktu analisa CWT juga semakin lama.

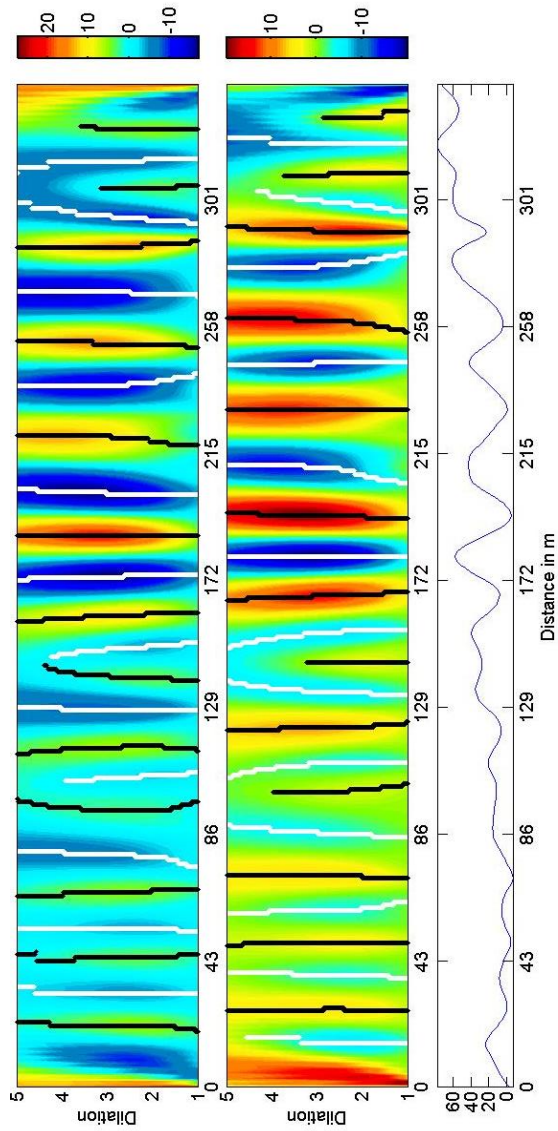
Gambar 4.2 (a) merupakan koefisien real sedangkan gambar (b) merupakan koefisien imajiner. Gambar 4.3 (a) merupakan koefisien phase sedangkan gambar (b) merupakan koefisien modulus. Pada kedua gambar tersebut terdapat garis-garis berwarna hitam maupun putih. Garis tersebut merupakan ekstrema.

Ekstrema adalah garis yang terbuat dari koefisien *wavelet* yang memiliki nilai optimum lokal.

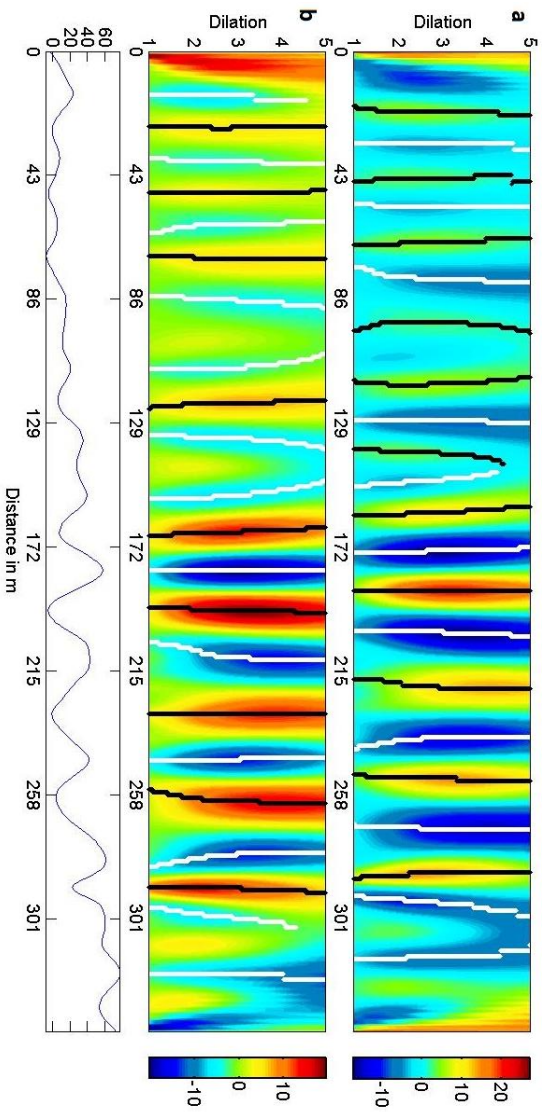
Beberapa ekstrema yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 menunjukkan singularitas yang terkait dengan sumber sinyal dan yang lainnya menunjukkan adanya *noise*. Dalam analisa sinyal, ekstrema yang berupa *noise* frekuensi tinggi yang terdeteksi oleh *wavelet* pada frekuensi tinggi atau dilatasi rendah. Jika pada sinyal yang dianalisa tidak mengandung atau terdapat sedikit *noise*, panjang minimal ekstrema yang digunakan harus relatif kecil. Sebaliknya, jika terdapat banyak *noise* pada sinyal, maka panjang ekstrema harus ditetapkan cukup besar. Hal ini untuk menghilangkan ekstraksi benda-benda bawah permukaan lain yang ikut terekam. Ekstrema ini juga berfungsi untuk proses filtering dengan menghilangkan ekstrema yang mencerminkan *noise* tanpa kehilangan informasi ekstrema sebenarnya.

Gambar 4.1 menunjukkan ekstrema dari CWT dengan menggunakan panjang ekstrema sebesar 10% sedangkan Gambar 4.2 menunjukkan ekstrema dari CWT dengan menggunakan panjang ekstrema sebesar 80%. Gambar 4.1 banyak ekstrema yang mencerminkan *noise* dibandingkan dengan Gambar 4.2. Sehingga, dalam menentukan posisi anomali pada data SP dari data Tanggul Lumpur Sidoarjo digunakan panjang ekstrema sebesar 80%.

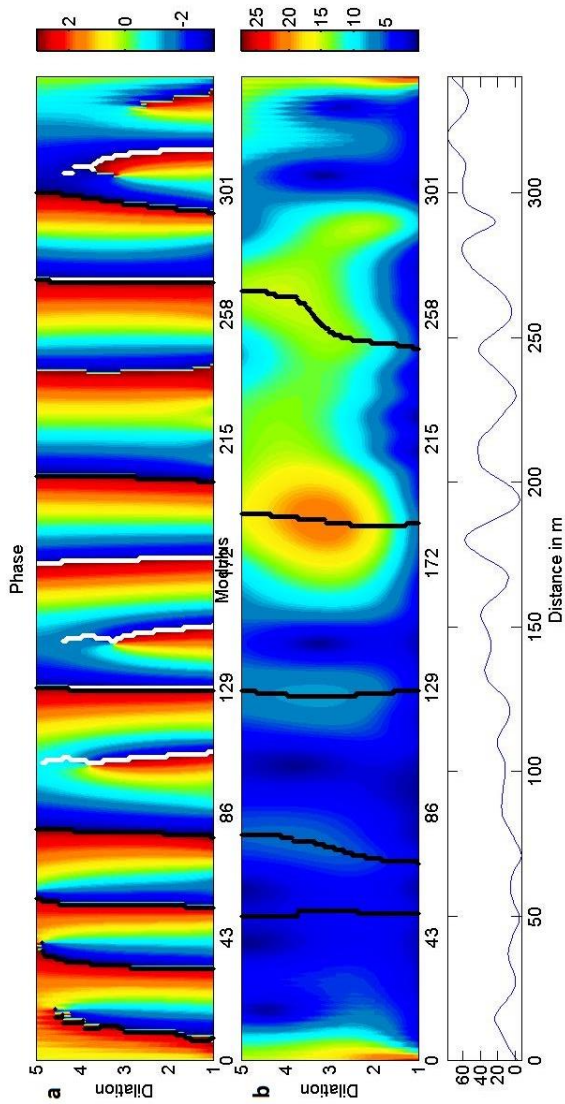
Bilangan matriks kompleks (terdiri dari bilangan real dan imajiner) hasil CWT dalam ruang 2D (jarak, pelebaran, dsb) yang berisi tentang informasi yang berkaitan dengan sumber sinyal yang dianalisa. Jadi, dari matriks koefisien *wavelet*, sumber sinyal yang diteliti dapat ditemukan dengan menggunakan koefisien real dan imajiner. Sedangkan koefisien phase (Gambar 4.3) dapat digunakan untuk menghitung orientasi kemiringan sumber sinyal. Matriks modulus menunjukkan satu ekstrema yang mewakili sumber anomali sumbu jarak. Hal tersebut memungkinkan untuk menghitung orientasi kemiringan sumber anomali.



Gambar 4.1 Grafis hasil analisa posisi anomali dengan menggunakan panjang ekstrema 10%



Gambar 4.2. Grafis analisa posisi anomali dengan menggunakan panjang ekstrema 80% (a). Koefisien wavelet Real dan (b). Koefisien wavelet imajiner



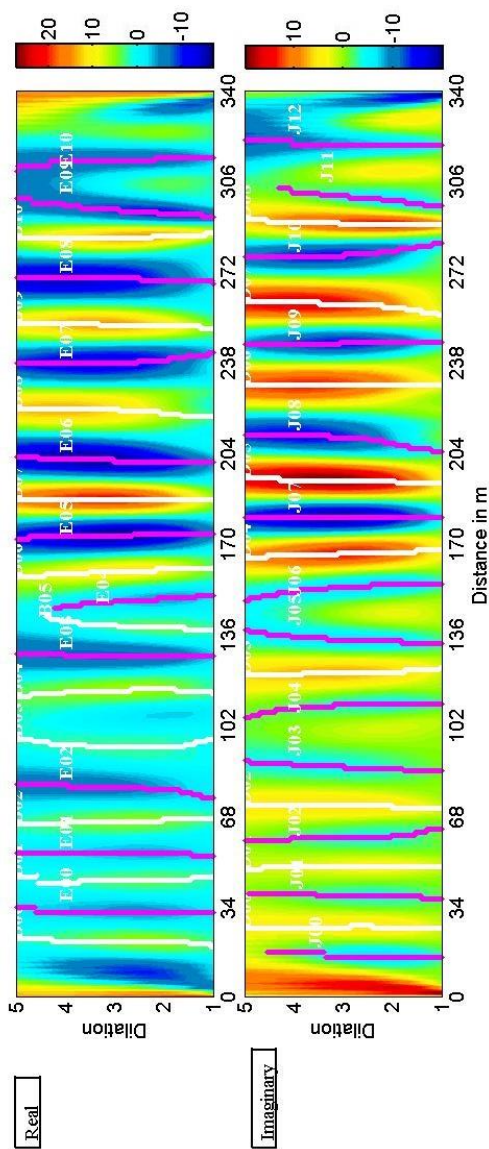
Gambar 4.3. Grafis analisa posisi anomali dengan menggunakan panjang ekstrema 80% (a). Koefisien wavelet phase dan (b). Koefisien wavelet modulus

4.1.2 *Continuous Wavelet Transform (CWT)* untuk Analisa Kedalaman

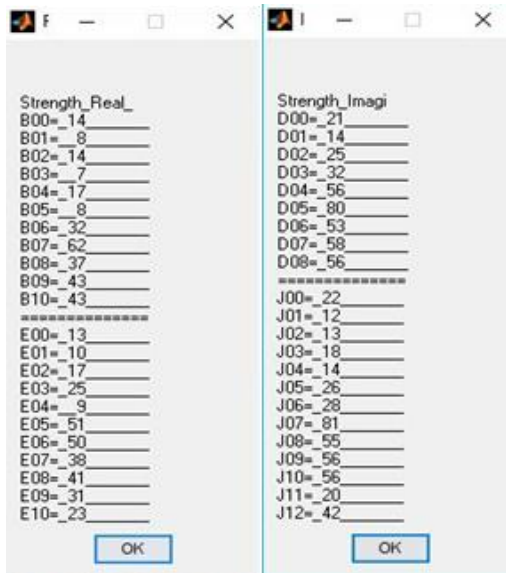
Untuk analisa kedalaman sumber anomali menggunakan metode CWT dapat ditentukan melalui 3 bagian, yaitu: perhitungan kedalaman, regresi linier, dan perhitungan koefisien struktur. Analisa kedalaman sumber anomali dilakukan dengan menggunakan jenis-jenis *wavelet* yang berbeda. Untuk mengidentifikasi kedalaman pada jenis *wavelet* H1 menggunakan koefisien *wavelet* imajiner, pada jenis *wavelet* H2 menggunakan koefisien *wavelet* real, dan pada jenis *wavelet* H3 menggunakan koefisien *wavelet* imaginary. Sedangkan untuk *wavelet* turunan secara vertikal berkebalikan dengan turunan secara horisontal atau dapat dilihat pada Tabel 2.

Untuk membuat perhitungan kedalaman anomali dan membantu memilih ekstrema yang mengandung anomali, nilai amplitud dihitung pada setiap ekstrema. Nilai amplitud adalah rata-rata nilai absolut koefisien *wavelet* yang menentukan ekstrema. Untuk sumber yang sama, jumlah ekstrema yang terkonvergensi ke arah sumber anomali dapat berkisar antara 2 sampai lebih dari 5 ekstrema. Dengan demikian, kombinasi dari ekstrema tersebut dapat dipilih untuk menghitung kedalaman. Namun, ditekankan untuk ekstrema yang memiliki nilai koefisien *wavelet* tertinggi. Ekstrema koefisien *wavelet* real dilambangkan dengan “B” untuk ekstrema positif dan “E” untuk ekstrema negatif. Sedangkan ekstrema dari koefisien *wavelet* imajiner dilambangkan dengan “D” untuk ekstrema positif dan “J” untuk ekstrema negatif (Gambar 4.4)

Gambar 4.4 menunjukkan nilai amplitud ekstrema pada koefisien real dan koefisien imajiner. Pada koefisien real, ekstrema positif yang memiliki nilai kekuatan relatif terbesar adalah B07 sebesar 62, sedangkan ekstrema negatif yang memiliki nilai amplitud terbesar adalah E05 dan E06 sebesar 50 dan 51. Pada koefisien imaginary, ekstrema positif yang memiliki nilai amplitud sebesar adalah D05 sebesar 80, sedangkan ekstrema negatif yang memiliki nilai terbesar 81 pada J07.



Gambar 4.4. Garis ekstrema koefisien real dan imaginary wavelet



Gambar 4.5. Nilai kekuatan relatif ekstrema pada turunan ketiga (a). koefisien wavelet real dan (b) koefisien wavelet imajiner

Untuk menentukan kedalaman sumber anomali menggunakan regresi linier pada garis ekstrema. Pada data tanpa *noise* atau terdapat sedikit *noise*, masing-masing memiliki bentuk regresi linier tertentu. Namun, adanya *noise* pada data yang kompleks menyebabkan garis ekstrema terdistorsi, hal tersebut dapat menghasilkan kesalahan pada perhitungan kedalaman sumber sinyal. Untuk membatasi *noise*, metode CWT memiliki dua pilihan yang dapat digunakan yaitu regresi linier otomatis atau regresi linier grafis, yaang mana keduanya memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing.

Pada regresi linier secara otomatis, menggunakan bobot ppada fungsi objektif dengan mempertimbangkan nilai absolut masing-masing koefisien wavelet yang menghasilkan ekstrema. Semakin tinggi nilai absolut koefisien wavelet, akan semakin baik juga singularitas. Hal ini menunjukkan bahwa bobot pada fungsi objektif dapat mengkarakterisasi sumber anomali dengan lebih

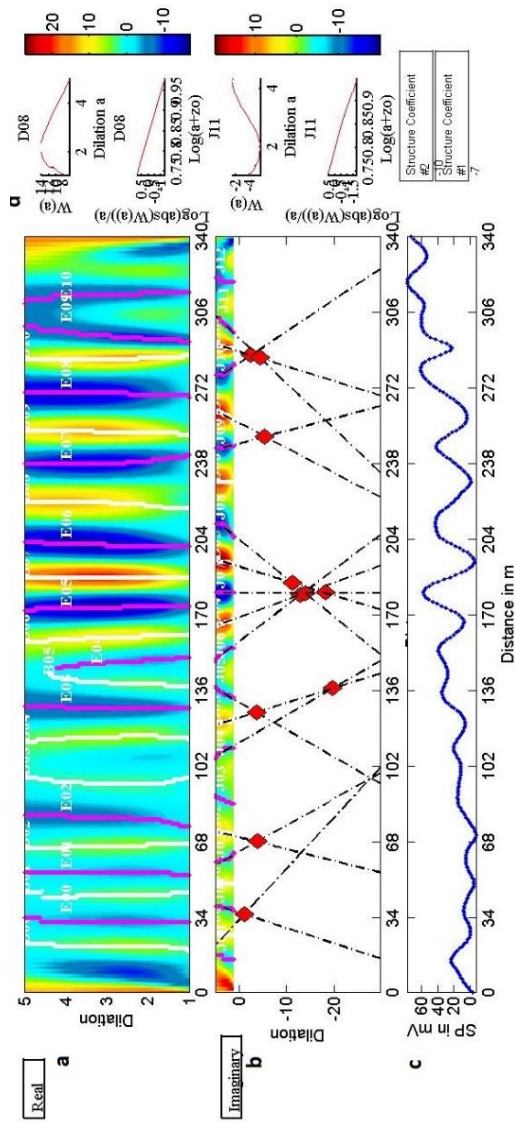
baik. Jika koefisien wavelet dan noise memiliki nilai frekuensi yang mirip, regresi linier otomatis tidak bisa memberikan informasi kedalaman sumber anomali dengan tepat. Sedangkan, jika memilih regresi linier grafis, hanya dapat memilih setidaknya tiga ekstrema yang terdapat noise. Hal tersebut dapat menghindari bagian ekstrema yang terdapat noise. Dikarenakan hanya dapat memilih tiga titik, maka dalam menggunakan regresi linier grafis harus berhati-hati agar tidak terjadi kesalahan. Untuk menghindari kesalahan dalam memilih 3 titik yang mewakili anomali, maka pada penelitian ini menggunakan regresi linier secara otomatis.

Gambar 4.6 (b) menunjukkan titik perpotongan antara garis ekstrema bernilai positif dan negatif. Titik perpotongan tersebut mengindikasikan posisi dan kedalaman dari anomali dari data. Namun agar hasil posisi dan kedalaman anomali lebih akurat, penentuan posisi dan kedalaman anomali dengan memadukan minimal 4 jenis wavelet yang mengindikasikan posisi serupa. Setelah didapatkan nilai posisi dan kedalaman anomali, dilakukan perhitungan interquartile untuk menentukan ketidakpastian dari suatu sumber sinyal. Perhitungan median dan interquartile pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil analisa kedalaman dan posisi sumber sinyal dengan metode CWT

Lintasan	Anomali	Kedalaman (m)	Posisi (m)	Jenis <i>Wavelet</i>
1	1	-8,72 \pm 7,61	125,72 \pm 1,14	H2, H3, V1, V2, V3
	2	-81,24 \pm 10,87	137,53 \pm 0,36	H2, H3, V2, V3
	3	-61,18 \pm 41,64	179,28 \pm 5,06	H1, H2, H3 V1, V2, V3
	4	-45,53 \pm 6,62	186,40 \pm 1,52	H1, H2, H3 V1, V2, V3

	5	-26,98 ± 9,46	252,14 ± 2,23	H2, H3, V1, V2, V3
	6	-14,51 ± 8,28	286,28 ± 0,99	H2, H3, V2, V3
2	1	-37,22 ± 8,56	87,08 ± 1,59	H2, H3, V2, V3
	2	-64,93 ± 16,78	140,97 ± 3,05	H1, H2, H3, V1, V2
	3	-17,85 ± 6,84	241,87 ± 0,72	H1, H2, H3, V1, V2, V3
	4	-16,84 ± 5,90	354,81 ± 11,02	H1, H2, H3, V1, V2
3	1	-39,77 ± 28,39	58,77 ± 2,36	H1, H2, H3, V1, V2, V3
	2	-18,10 ± 2,42	70,23 ± 0,46	H1, H2, V1, V2,
	3	-3,25 ± 3,39	188,09 ± 1,43	H2, H3, V1, V2, V3
	4	-8,60 ± 0,68	249,66 ± 0,67	H1, H2, H3, V1, V2, V3
4	1	-74,32 ± 17,66	310,00 ± 0	H1, H2, H3, V1, V2, V3
	2	-42,67 ± 13,92	166,01 ± 1,10	H1, H3, V1, V3
5	1	-154,07 ± 8,85	239,61 ± 10,23	H1, H2, V1, V2, V3
	2	-22,50 ± 6,74	422,32 ± 8,41	H1, H2, H3, V1, V2, V3
	3	-284,04 ± 76,44	678,15 ± 33,66	H2, H3, V2, V3



Gambar 4.6. Analisa wavelet kontinyu pada data SP dengan menggunakan turunan ketiga horisontal; (a) Analisa nilai wavelet real, (b) Analisa nilai wavelet imajiner, (c) Sinyal elektrik tanpa noise

4.2 Analisa dan Interpretasi Data *Self-Potential* pada Setiap Lintasan Pengukuran

Untuk menilai stabilitas tanggul diperlukan suatu metode yang dapat memetakan zona rembesan pada tanggul tersebut. Salah satu metode yang dapat menyelidiki rembesan pada tanggul adalah *Self-Potential*. Pengukuran tersebut didasarkan pada pengukuran potensial listrik yang disebabkan oleh air yang bergerak dalam medium berpori (Ogilvy dkk., 1969)

Hasil analisa yang telah dilakukan dengan menggunakan metode CWT. Selanjutnya dilakukan pembuatan grafik perbandingan beda potensial dan posisi serta kedalaman dan posisi anomali.

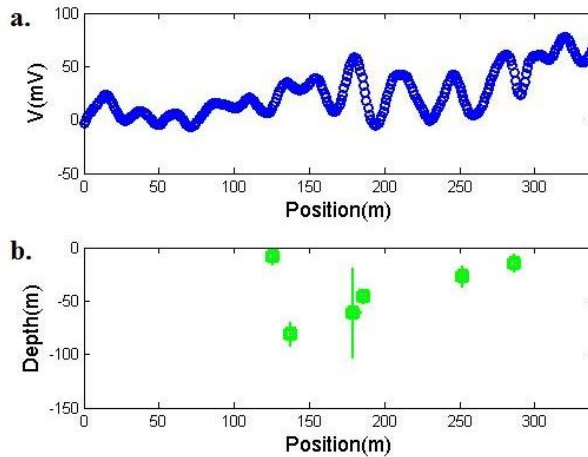
4.2.1 Analisa dan Interpretasi Data Pada Lintasan 1 (P79-82)

Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan beda potensial dengan posisi dan kedalaman anomali pada Lintasan 1. Gambar ini menunjukkan bahwa pada daerah tersebut terdapat 2 anomali yang dapat menyebabkan rembesan tanggul (Gambar 4.7b). Anomali pertama terletak pada posisi $125,72 \pm 1,14$ dengan kedalaman $-8,72 \pm 7,61$. Anomali kedua, terletak pada posisi $286,28 \pm 0,99$ dengan kedalaman $-14,51 \pm 8,28$. Sebab tanggul pada umumnya hanya memiliki ketebalan ± 15 m sedangkan anomali dengan kedalaman lebih dari 15 m kemungkinan retakan yang diakibatkan oleh penurunan tanah yang berlebihan.

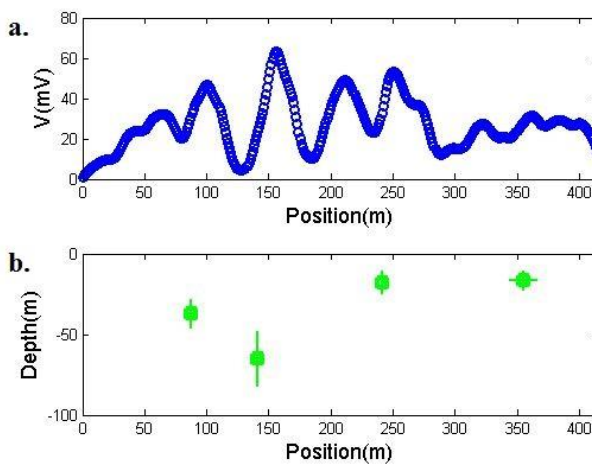
4.2.2 Analisa dan Interpretasi Data Pada Lintasan 2 (P78-79)

Gambar 4.8. menunjukkan perbandingan beda potensial dengan kedalaman anomali pada Lintasan 2. Gambar ini menunjukkan bahwa pada tanggul tersebut terdapat 2 anomali yang dapat menyebabkan rembesan tanggul (Gambar 4.8b). Anomali pertama terletak pada posisi $241,87 \pm 0,72$ dengan kedalaman $-17,85 \pm 6,84$. Anomali kedua terletak pada posisi $354,81 \pm 11,02$ dengan kedalaman $-16,84 \pm 5,90$. Anomali dengan kedalaman lebih dari 15

m kemungkinan retakan yang diakibatkan oleh penurunan tanah yang berlebihan.



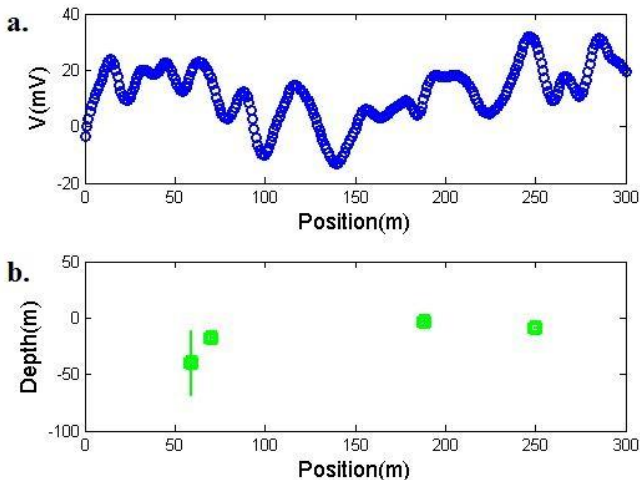
Gambar 4.7. Perbandingan beda potensial (V) dengan kedalaman anomali pada Lintasan 1 Tanggul LUSI



Gambar 4.8 Perbandingan beda potensial (V) dengan kedalaman anomali pada Lintasan 2 Tanggul LUSI

4.2.3 Analisa dan Interpretasi Data Pada Lintasan 3 (P76-77)

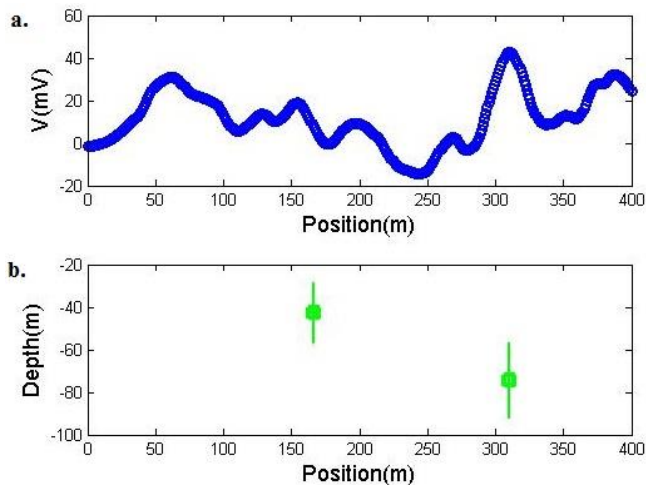
Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan beda potensial dengan kedalaman dan posisi anomali Lintasan 3. Gambar ini menunjukkan bahwa pada daerah tersebut terdapat 3 anomali yang menyebabkan rembesan tanggul (Gambar 4.9b). Anomali pertama terletak pada posisi $249,66 \pm 0,67$ dengan kedalaman $-8,60 \pm 0,68$. Anomali kedua terletak pada posisi $188,09 \pm 1,42$ dengan kedalaman $-3,25 \pm 3,39$. Anomali ketiga terletak pada posisi $70,23 \pm 0,46$ dengan kedalaman $-18,10 \pm 2,42$. Sebab tanggul umumnya memiliki ketebalan ± 15 m sedangkan anomali dengan kedalaman lebih dari 15 m kemungkinan retakan yang disebabkan oleh penurunan tanah yang berlebihan.



Gambar 4.9 Perbandingan beda potensial (V) dengan kedalaman anomali pada Lintasan 3 Tanggul LUSI

4.2.4 Analisa dan Interpretasi Data Pada Lintasan 4 (P75A)

Lintasan 4 merupakan tanggul dengan koordinat P75A. Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan beda potensial dengan kedalaman anomali pada Lintasan 4 tanggul Lumpur Sidoarjo. Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan beda potensial dengan posisi dan kedalaman anomali. Gambar ini menunjukkan bahwa pada tanggul tersebut tidak terdapat rembesan tanggul dikarenakan anomali yang teridentifikasi memiliki kedalaman yang lebih dari 15 m yang mengindikasikan kemungkinan adanya retakan yang diakibatkan oleh penurunan tanah yang berlebihan.

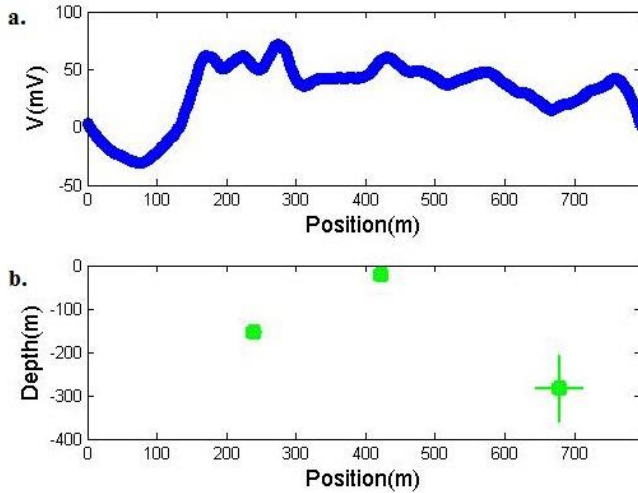


Gambar 4.10 Perbandingan beda potensial (V) dengan kedalaman anomali pada Lintasan 4 Tanggul LUSI

4.2.5 Analisa dan Interpretasi Data Pada Lintasan 5 (Ptabendo)

Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan beda potensial dengan kedalaman anomali pada Lintasan 5 tanggul Lumpur Sidoarjo. Gambar ini menunjukkan bahwa pada daerah tersebut terdapat 1 anomali yang menyebabkan rembesan tanggul (Gambar 4.11b). Anomali tersebut terletak pada posisi $422,32 \pm 8,41$ dengan

kedalaman $-22,5 \pm 6,74$. Sebab tanggul umumnya memiliki ketebalan ± 15 m sedangkan anomali dengan kedalaman lebih dari 15 m kemungkinan retakan yang disebabkan oleh penurunan tanah yang berlebihan.



Gambar 4.11 Perbandingan beda potensial (V) dengan kedalaman anomali pada Lintasan 5 Tanggul LUSI

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengolahan dan interpretasi data *Self-Potential* pada tanggul Lumpur Sidoarjo, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode *Continuous Wavelet Transform* (CWT) dapat mengidentifikasi posisi dan kedalaman anomali tanggul Lumpur Sidoarjo dengan menggunakan data *Self-Potential*.
2. Dari hasil interpretasi data *Self-Potential* didapatkan kemungkinan posisi dan kedalaman lokasi rembesan pada tanggul Lumpur Sidoarjo terdapat pada Lintasan 1, Lintasan 2, Lintasan 3 dan Lintasan 5

5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian ini maka diperoleh beberapa hal yang dapat disarankan untuk menjadi bahan perbandingan dalam penelitian yang akan lebih lanjut, di antara lain sebagai berikut :

1. Diperlukannya pengujian terhadap hasil interpretasi dengan menggunakan metode lain
2. Diperlukannya analisa lebih lanjut terhadap hasil interpretasi untuk zona rembesan tanggul Lumpur Sidoarjo

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

DAFTAR PUSTAKA

- Fagerlund, F., Heinson, G., 2003. Detecting subsurface groundwater flow in fractured rock using self-potential (SP) methods. *Environ. Geol.* 43, 782–794.
- Goupillaud, P., Grossmann, A., Morlet, J., 1984. Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis. *Geoexploration* 23, 85–102.
- Grossmann, A., Morlet, J., 1984. Decomposition of Hardy Functions into Square Integrable Wavelets of Constant Shape. *SIAM J. Math. Anal.* 15, 723–736. doi:10.1137/0515056
- Kim, S., Heinson, G., Joseph, J., 2004. Electrokinetic groundwater exploration: a new geophysical technique. *Sch. Earth Environ. Sci. Univ. Adel. SA 5005*, 181–185.
- Mauri, G., Williams-Jones, G., Saracco, G., 2011. MWTmat?application of multiscale wavelet tomography on potential fields. *Comput. Geosci.* 37, 1825–1835. doi:10.1016/j.cageo.2011.04.005
- Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G.G., Aloisi, G., Planke, S., Malthe-Sørensen, A., Istadi, B., 2007. Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia. *Earth Planet. Sci. Lett.* 261, 375–388. doi:10.1016/j.epsl.2007.07.001
- Moreau, F., Gibert, D., Holschneider, M., Saracco, G., 1997. Wavelet analysis of potential fields. *Inverse Probl.* 13, 165.
- Ogilvy, A.A., Ayed, M.A., Bogoslovsky, V.A., 1969. Geophysical studies of water leakages from reservoirs. *Geophys. Prospect.* 17, 36–62.
- Revil, A., Jardani, A., 2013. The self-potential method: theory and applications in environmental geosciences. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Saracco, G., 1994. PROPAGATION OF TRANSIENT WAVES THROUGH A STRATIFIED FLUID MEDIUM - WAVELET ANALYSIS OF A NONASYMPTOTIC

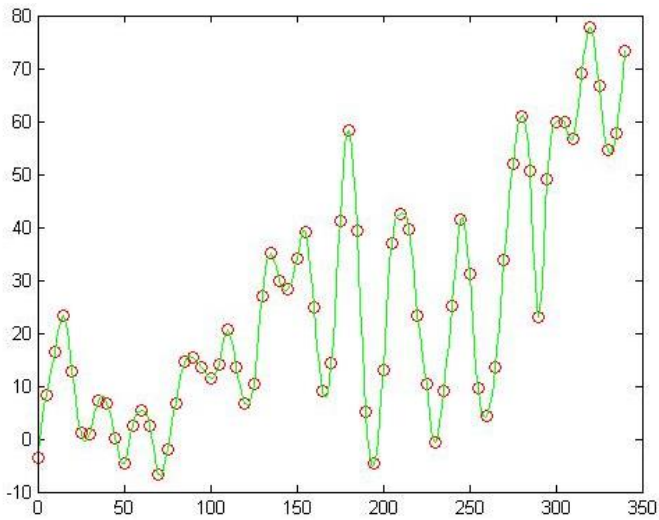
DECOMPOSITION OF THE PROPAGATOR .1.
SPHERICAL WAVES THROUGH A 2 LAYERED
SYSTEM. J. Acoust. Soc. Am. 95, 1191–1205.

Sato, M., Mooney, H.M., 1960. The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials. *Geophysics* 25, 226–249.

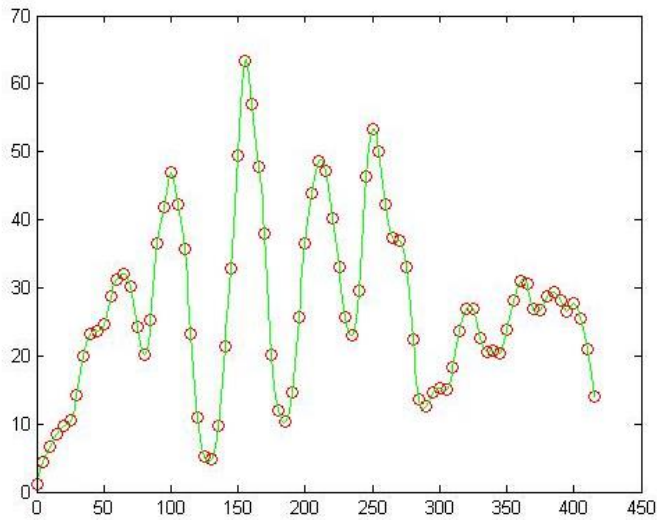
Syahrudin, M.H., 2011. Penentuan Laju Perembesan Air Dalam Media Berpori Menggunakan Metoda Geolistrik Daerah Resapan Air Kampus Unhas Tamalanrea Makassar.

LAMPIRAN

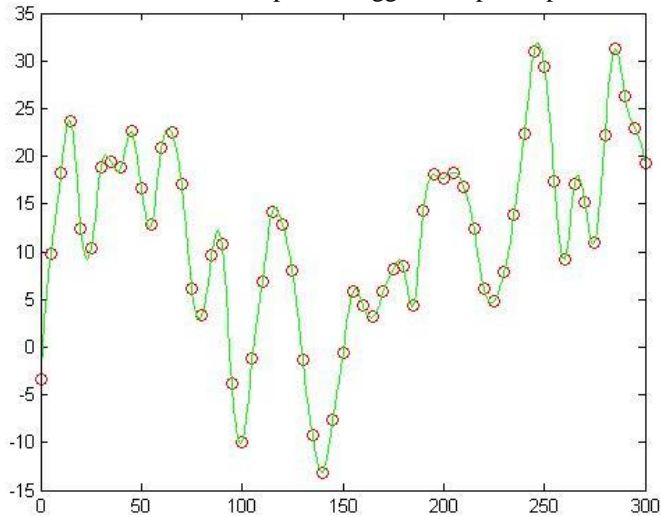
Lampiran 1. Data *Self-Potential*



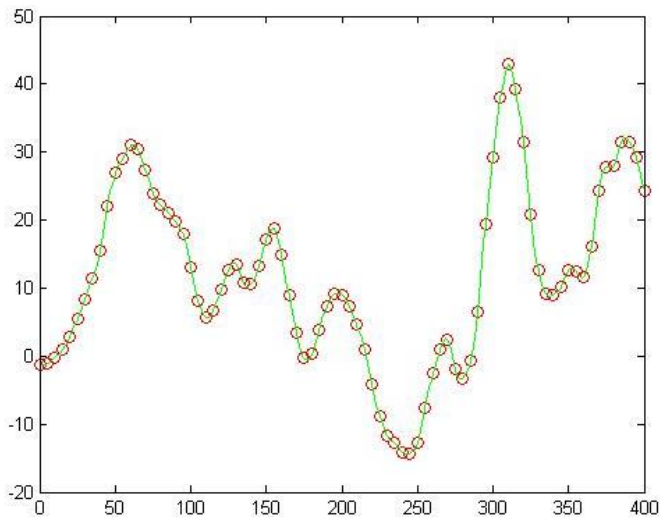
Gambar 1. Data Self-Potensial pada Tanggul Lumpur Lapindo lintasan 1



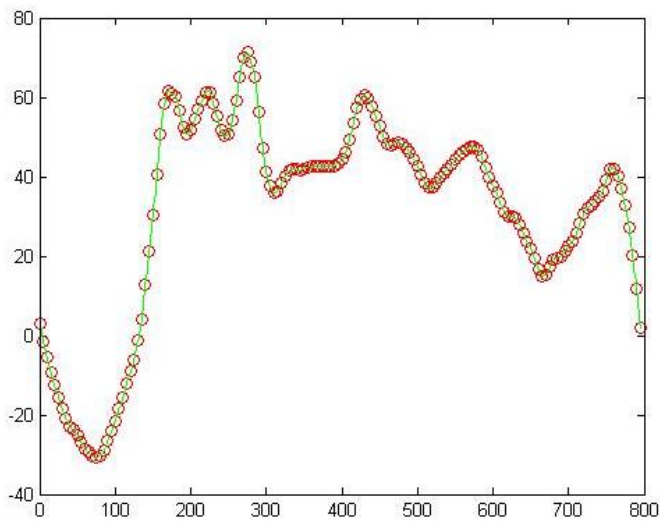
Gambar 2. Data Self-Potensial pada Tanggul Lumpur Lapindo lintasan 2



Gambar 3. Data Self-Potensial pada Tanggul Lumpur Lapindo lintasan 3

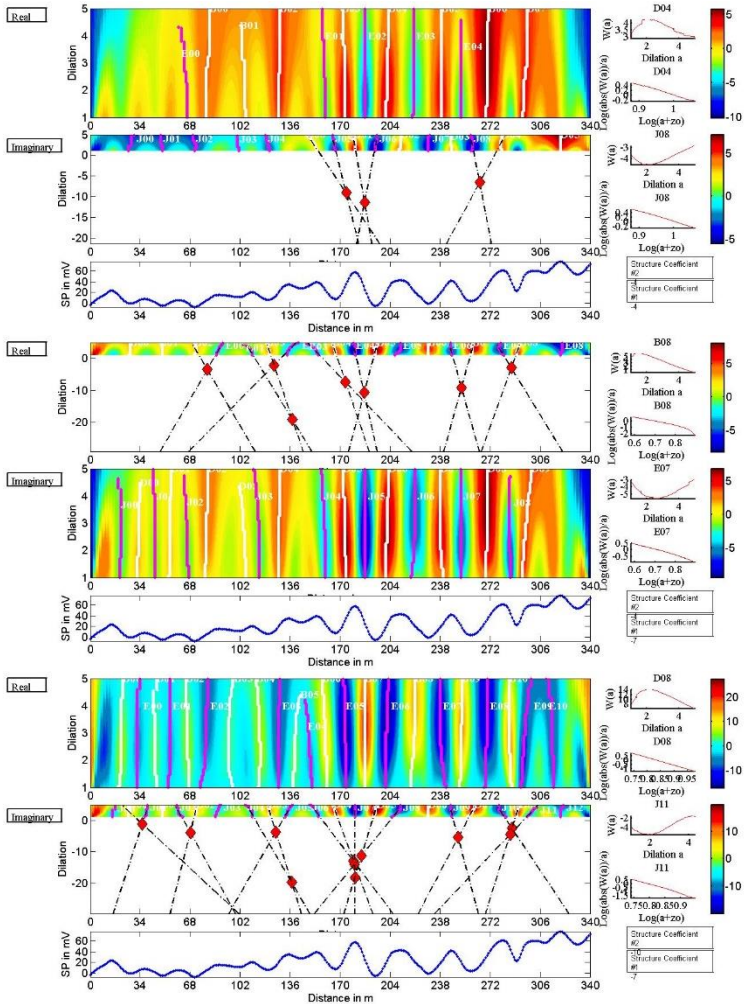


Gambar 4. Data Self-Potensial pada Tanggul Lumpur Lapindo lintasan 4

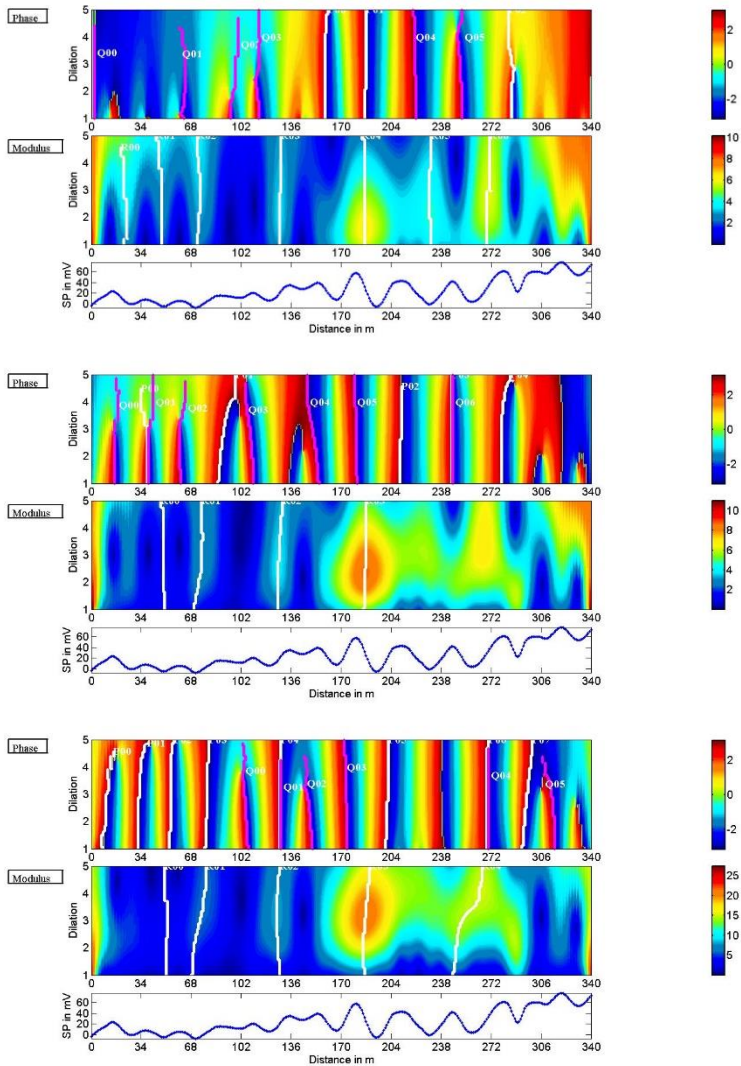


Gambar 5. Data Self-Potensial pada Tanggul Lumpur Lapindo lintasan 5

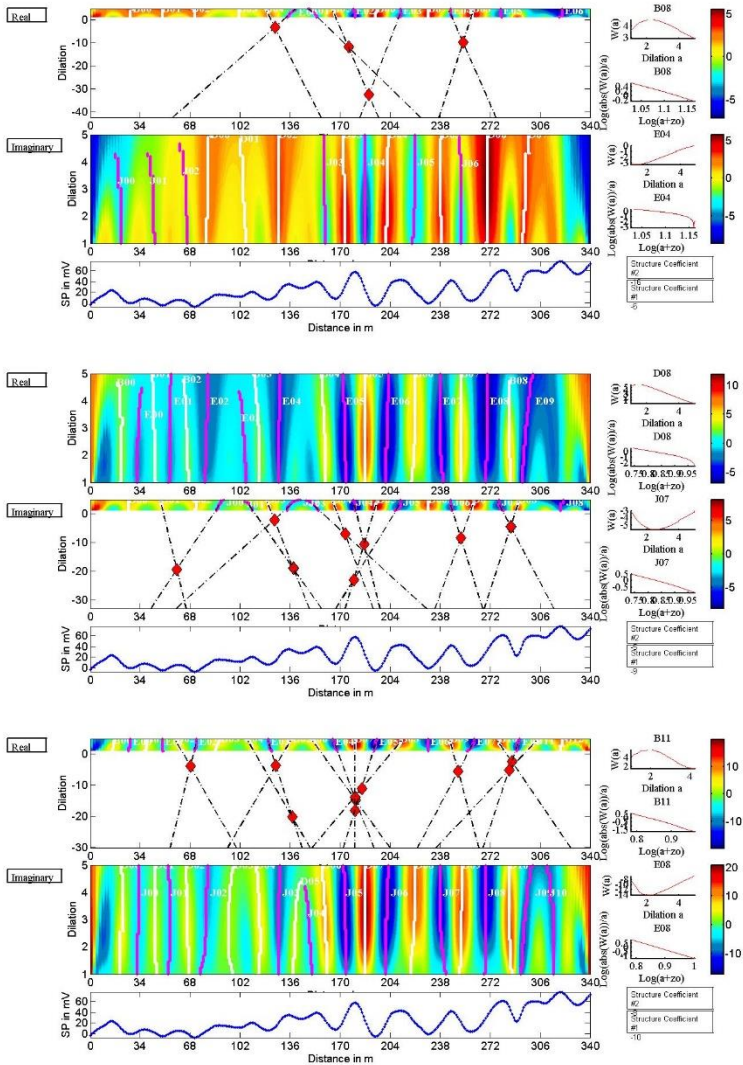
Lampiran 2. Analisa Kedalaman dan Posisi



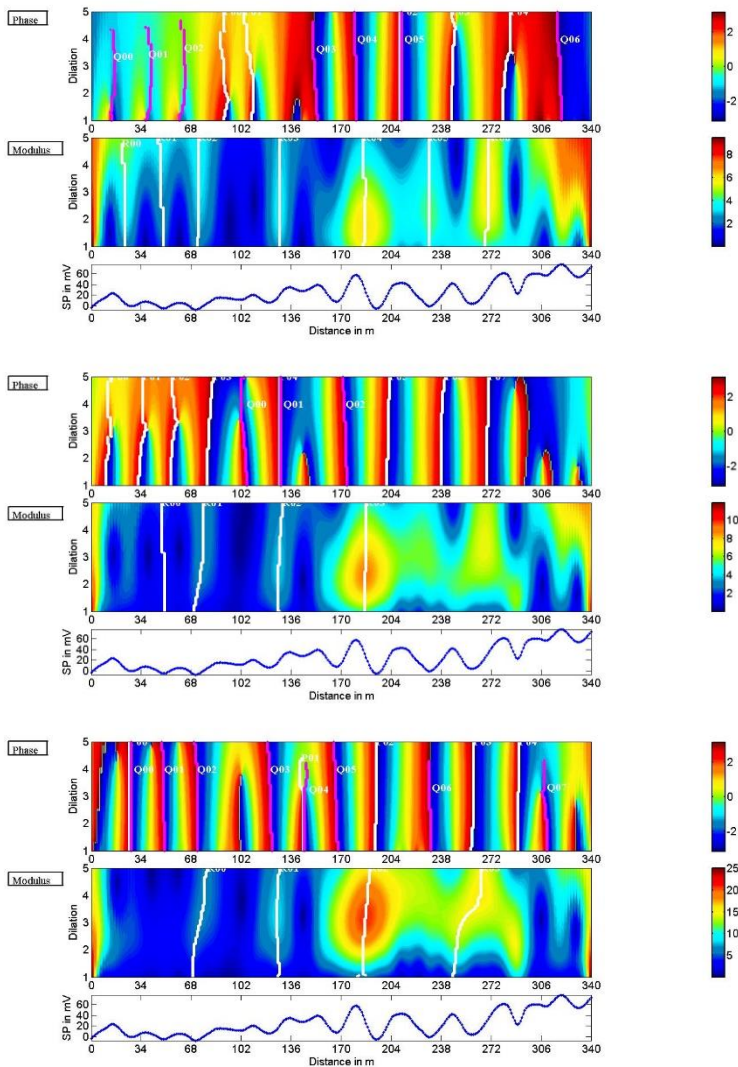
Gambar 6. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 1 *Real* dan *Imajiner* a. Turunan pertama Horizontal (H1), b. Turunan kedua Horizontal (H2), dan c. Turunan ketiga Horizontal (H3)



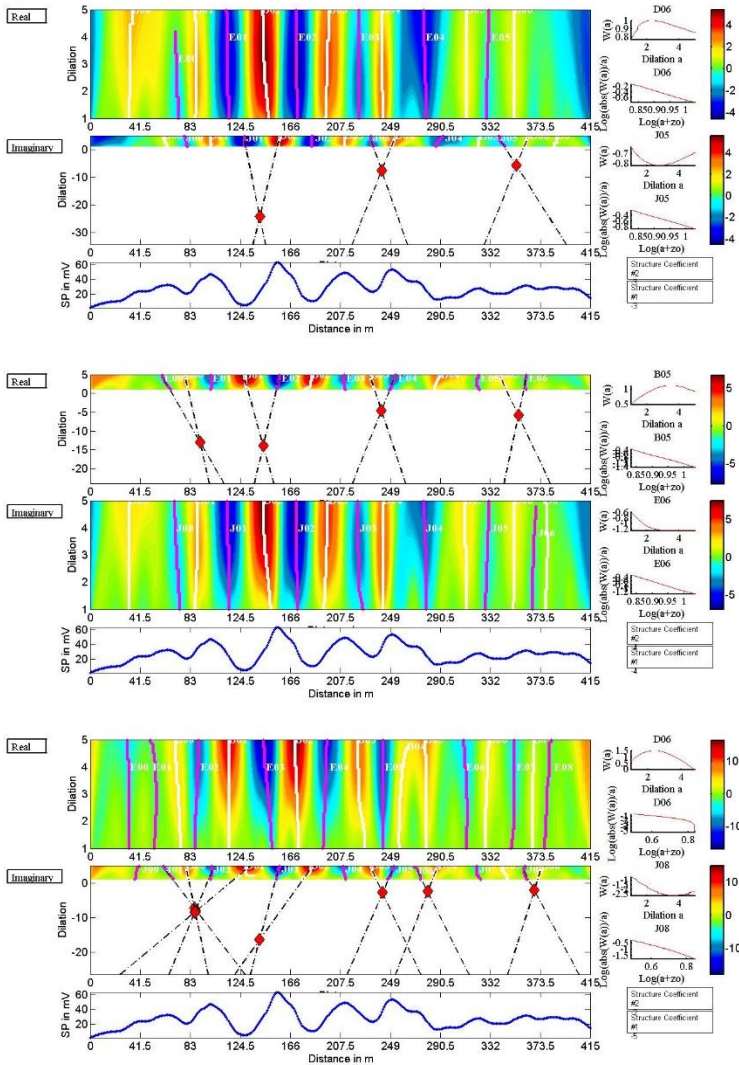
Gambar 7. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 1 *Phase* dan *Modulus* a. Turunan pertama Horizontal (H1), b. Turunan kedua Horizontal (H2), dan c. Turunan ketiga Horizontal (H3)



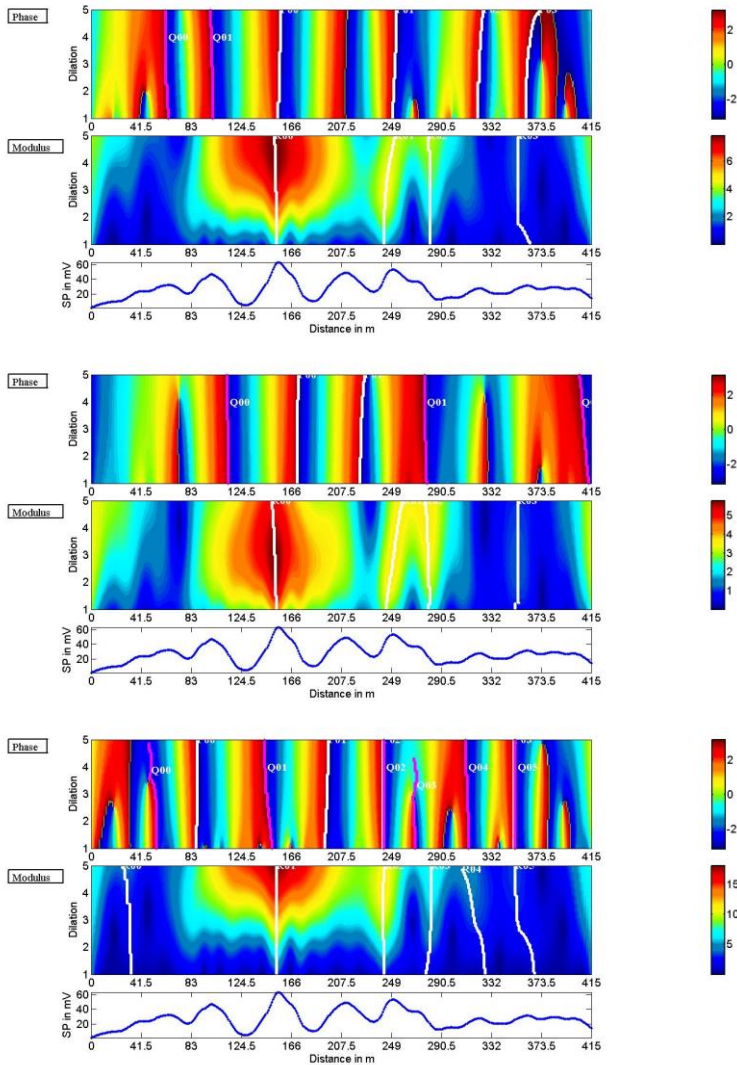
Gambar 8. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 1 *Real* dan Imajiner a. Turunan pertama Vertikal (V1), b. Turunan kedua Vertikal (V2), dan c. Turunan ketiga Vertikal (V3)



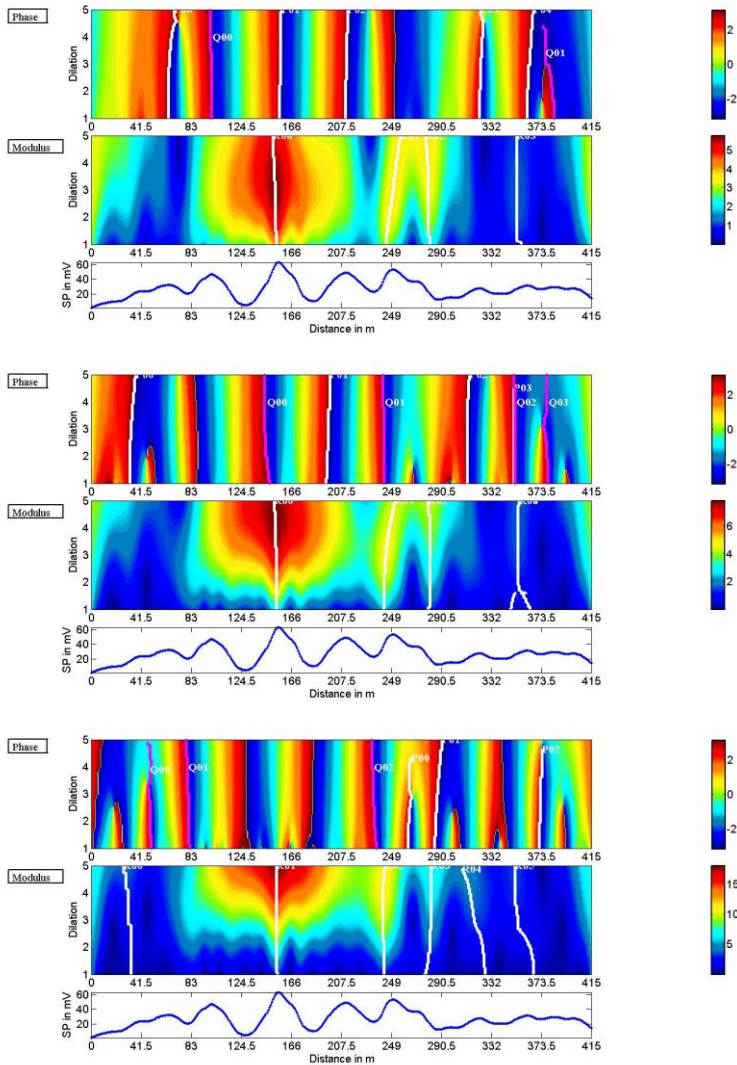
Gambar 9. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 1 *Phase* dan *Modulus* a. Turunan pertama Vertikal (V1), b. Turunan kedua Vertikal (V2), dan c. Turunan ketiga Vertikal (V3)



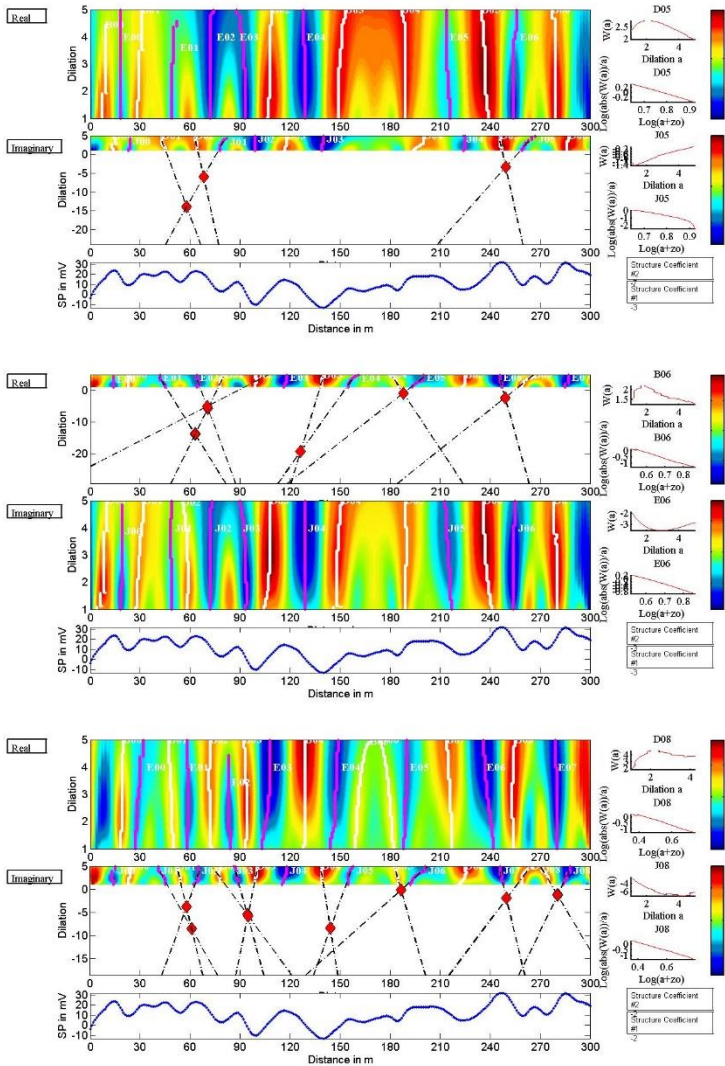
Gambar 10. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 2 *Real* dan *Imajiner* a. Turunan pertama Horizontal (H1), b. Turunan kedua Horizontal (H2), dan c. Turunan ketiga Horizontal (H3)



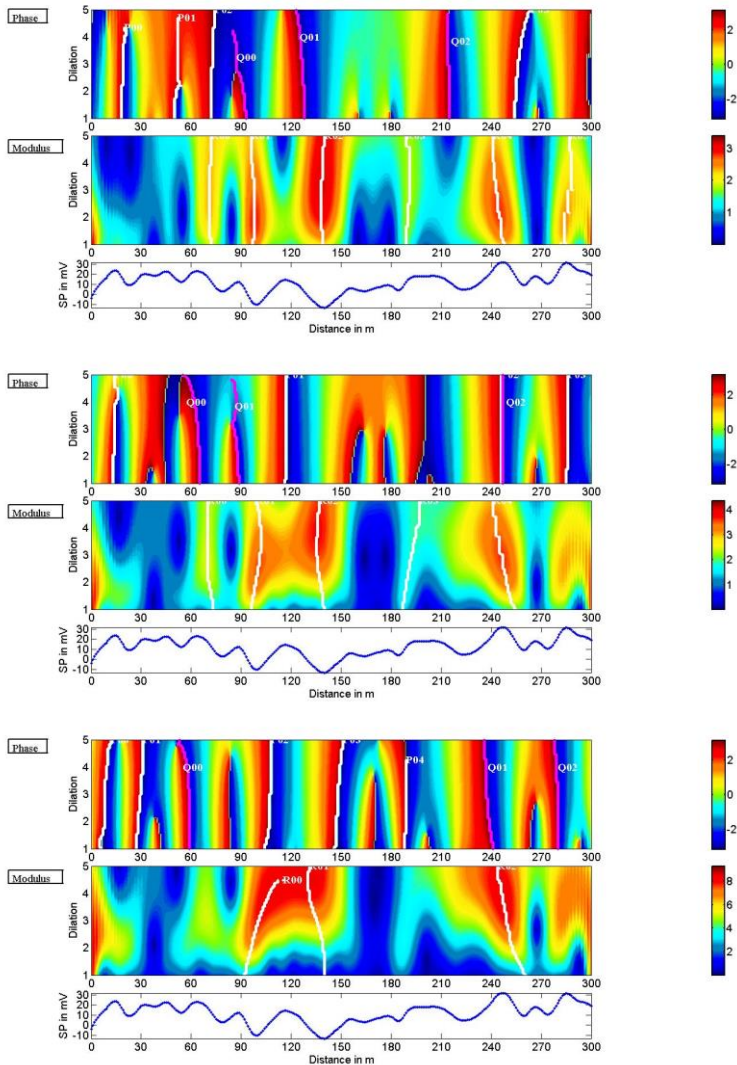
Gambar 11. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 2 *Phase* dan *Modulus* a. Turunan pertama Horizontal (H1), b. Turunan kedua Horizontal (H2), dan c. Turunan ketiga Horizontal (H3)



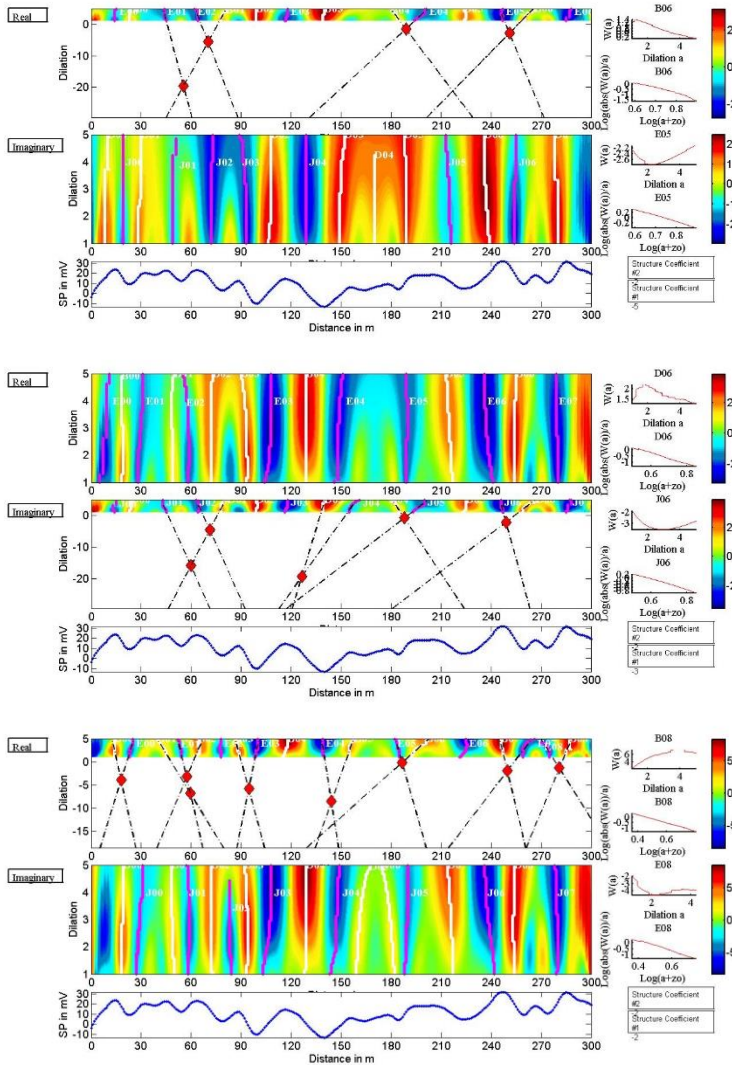
Gambar 13. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 2 *Phase* dan *Modulus* a. Turunan pertama Vertikal (V1), b. Turunan kedua Vertikal (V2), dan c. Turunan ketiga Vertikal (V3)



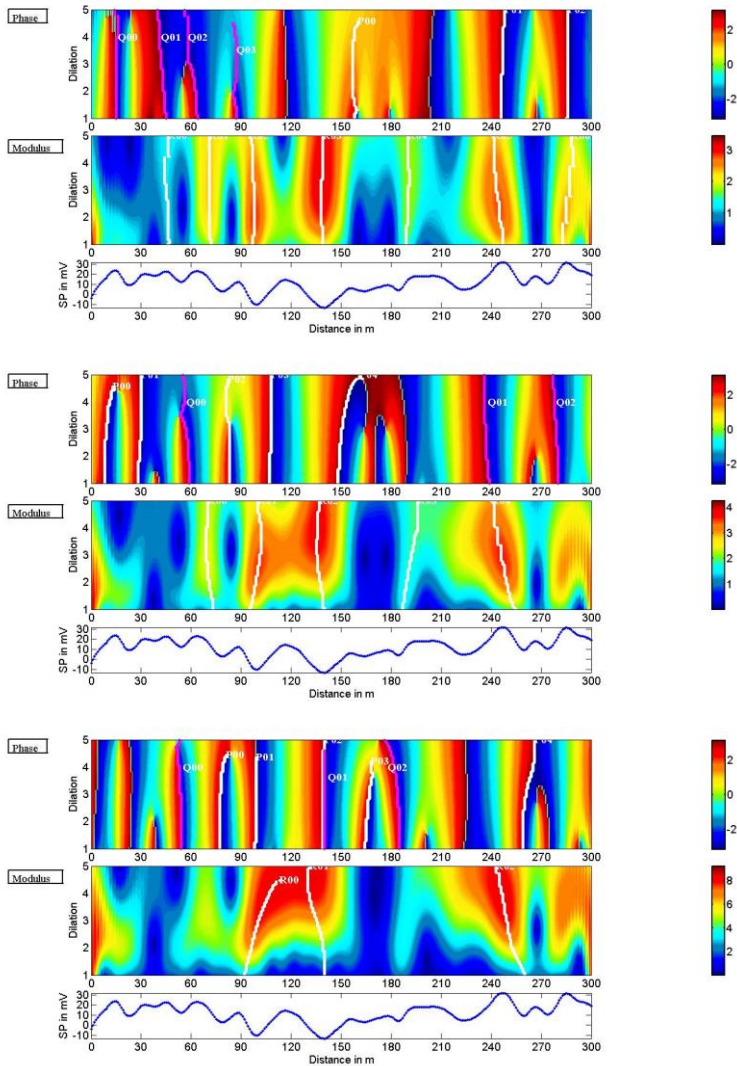
Gambar 14. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 3 *Real* dan *Imajiner* a. Turunan pertama Horizontal (H1), b. Turunan kedua Horizontal (H2), dan c. Turunan ketiga Horizontal (H3)



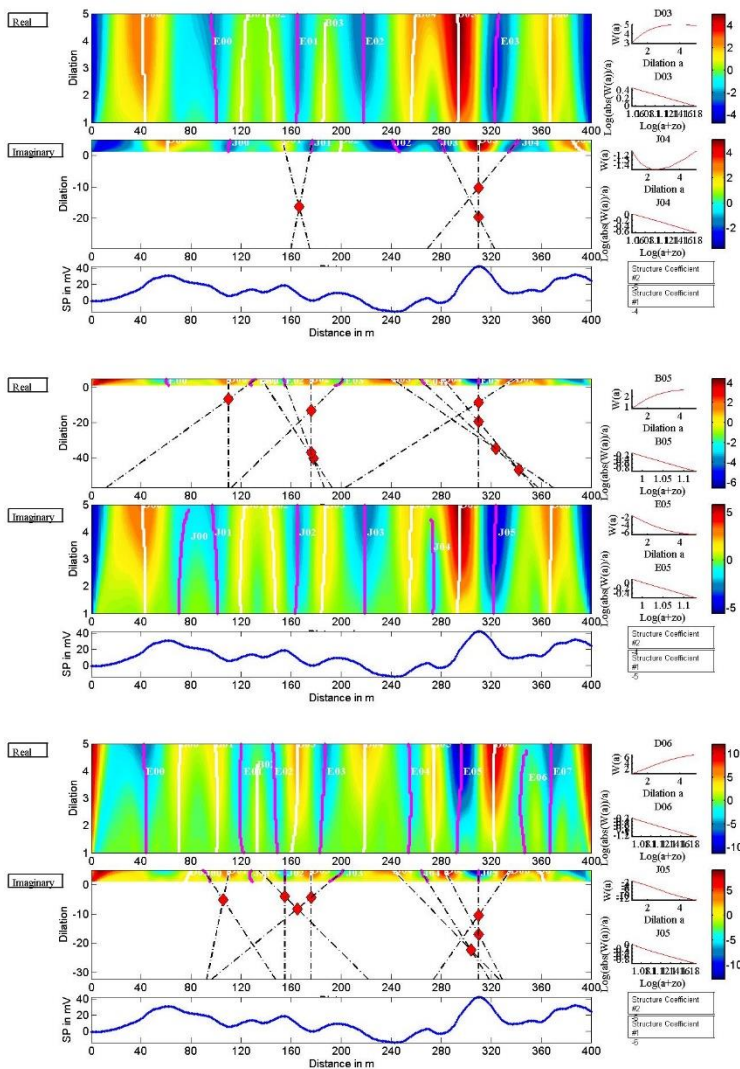
Gambar 15. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 3 *Phase* dan *Modulus* a. Turunan pertama Horizontal (H1), b. Turunan kedua Horizontal (H2), dan c. Turunan ketiga Horizontal (H3)



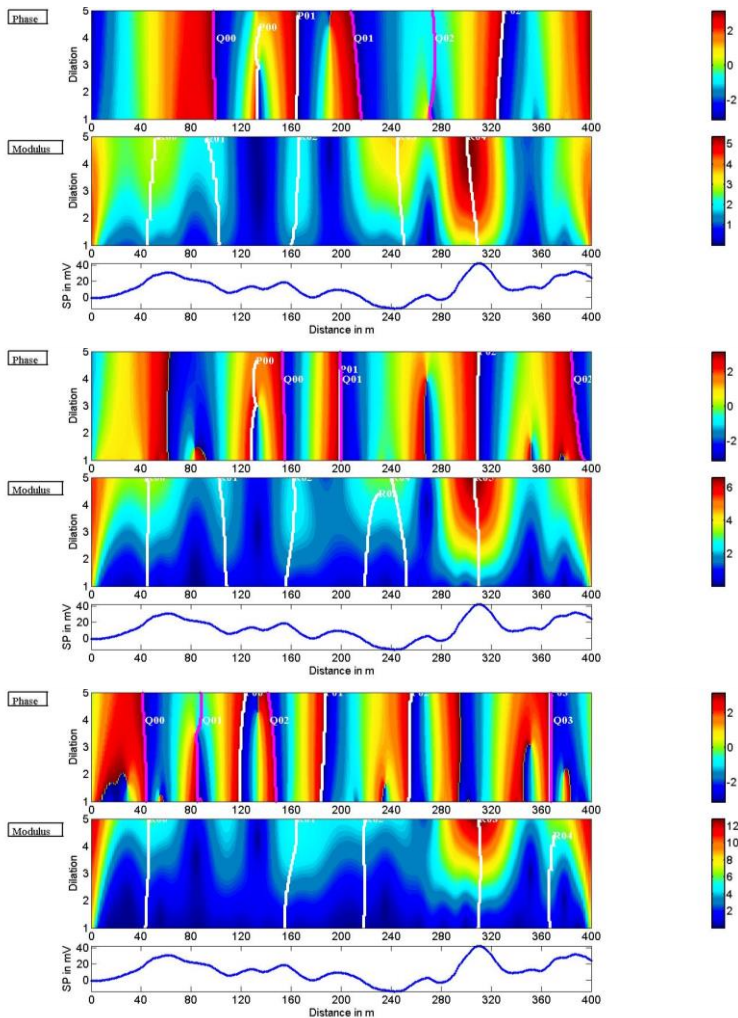
Gambar 16. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 3 *Real* dan *Imajiner* a. Turunan pertama Vertikal (V1), b. Turunan kedua Vertikal (V2), dan c. Turunan ketiga Vertikal (V3)



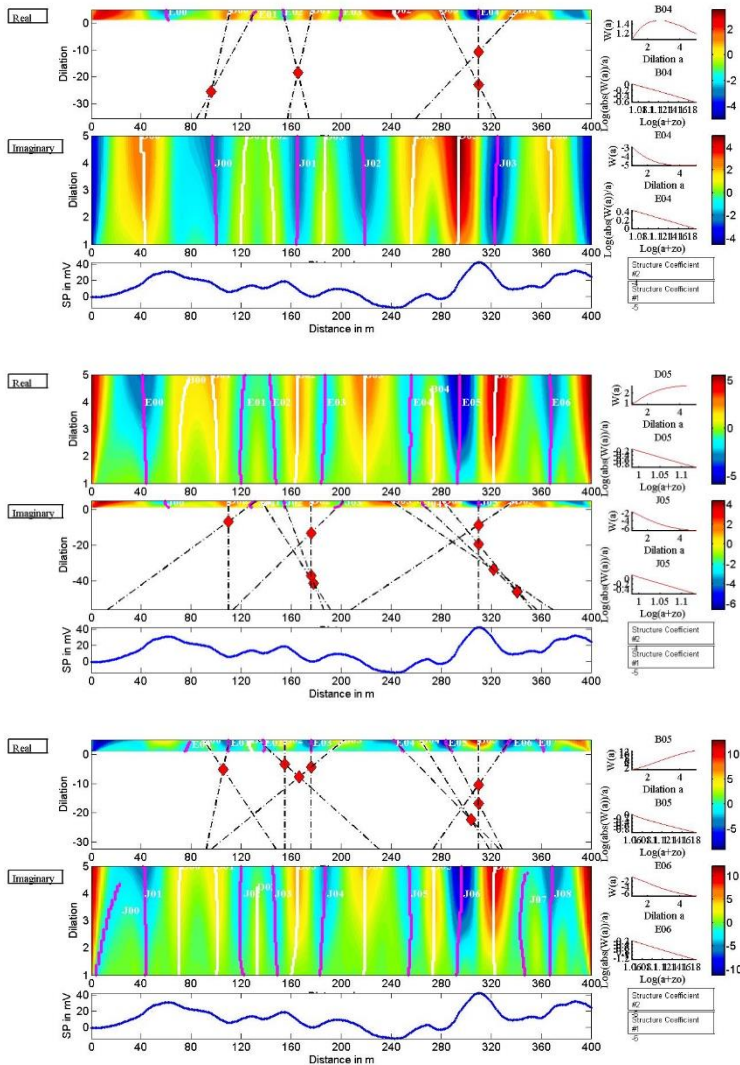
Gambar 17. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 3 *Phase* dan *Modulus* a. Turunan pertama Vertikal (V1), b. Turunan kedua Vertikal (V2), dan c. Turunan ketiga Vertikal (V3)



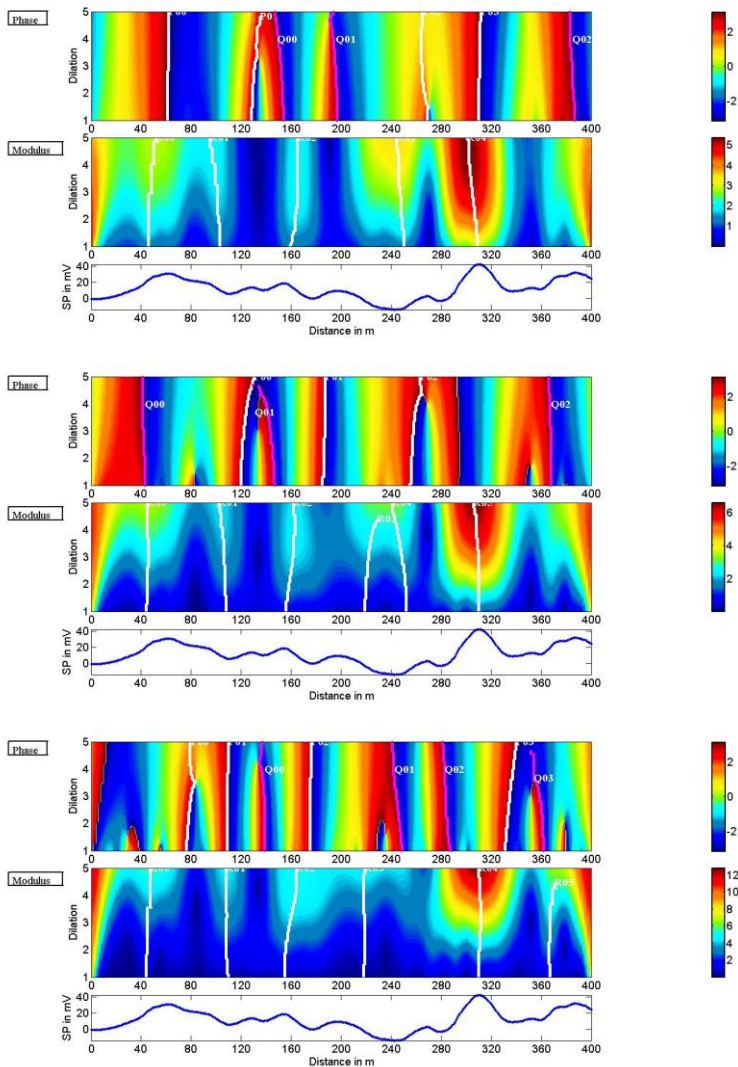
Gambar 18. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 4 *Real* dan Imajiner a. Turunan pertama Horizontal (H1), b. Turunan kedua Horizontal (H2), dan c. Turunan ketiga Horizontal (H3)



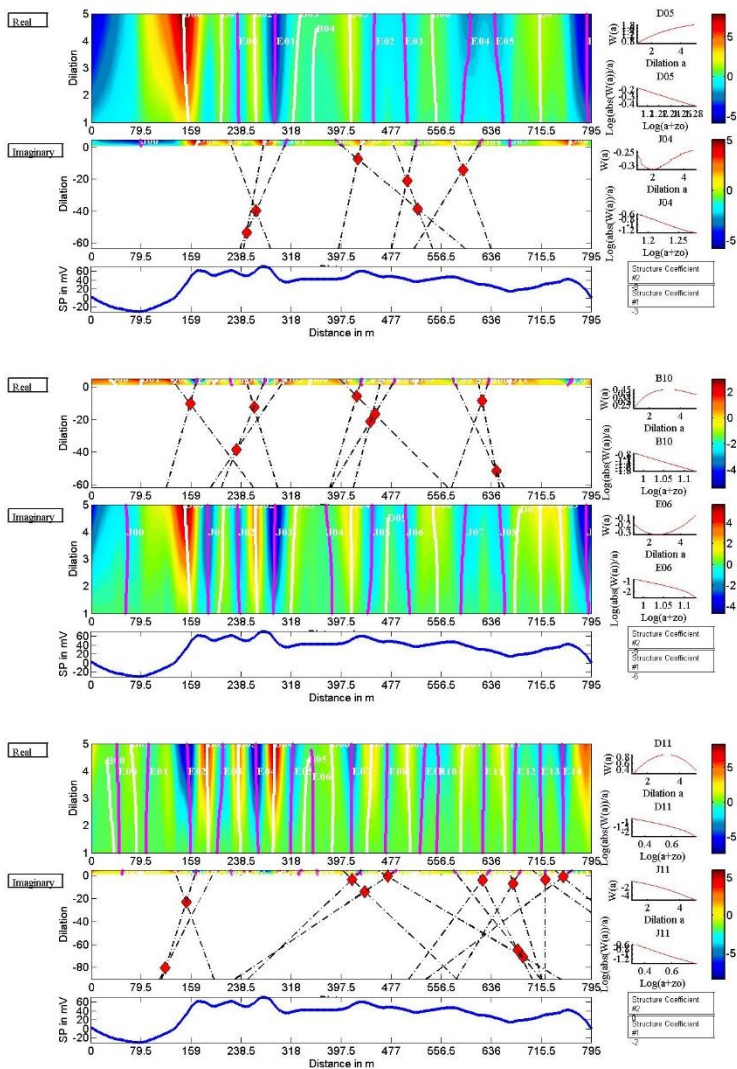
Gambar 19. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 4 *Phase* dan *Modulus* a. Turunan pertama Horizontal (H1), b. Turunan kedua Horizontal (H2), dan c. Turunan ketiga Horizontal (H3)



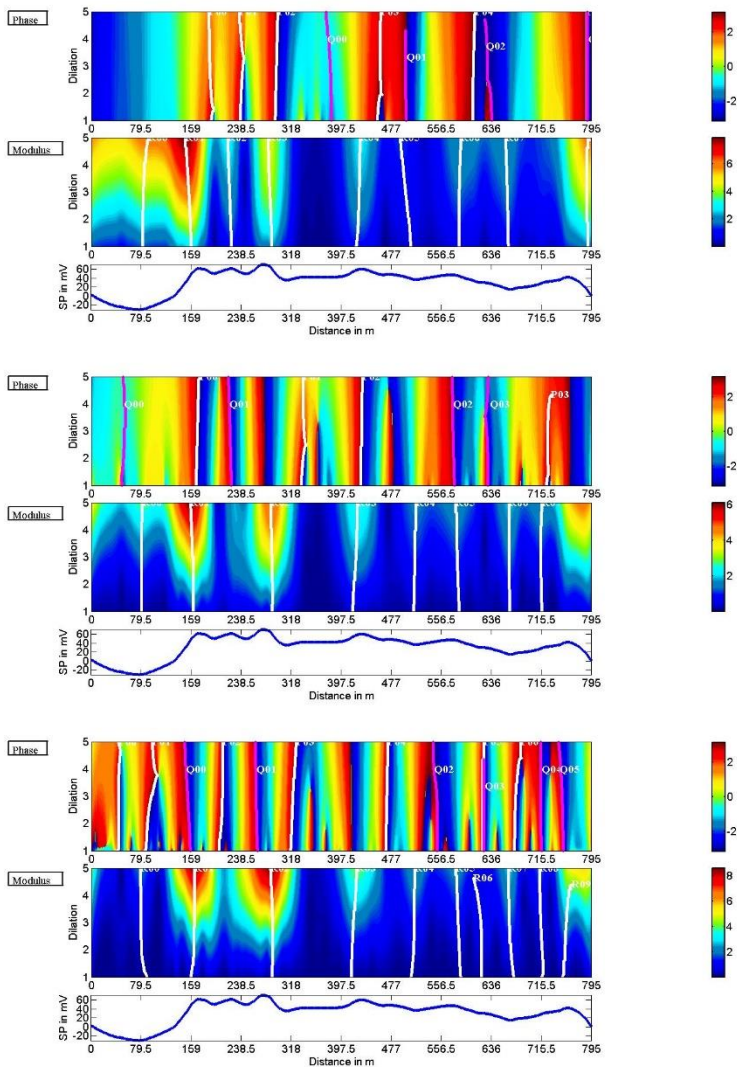
Gambar 20. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 4 *Real* dan *Imajiner* a. Turunan pertama Vertikal (V1), b. Turunan kedua Vertikal (V2), dan c. Turunan ketiga Vertikal (V3)



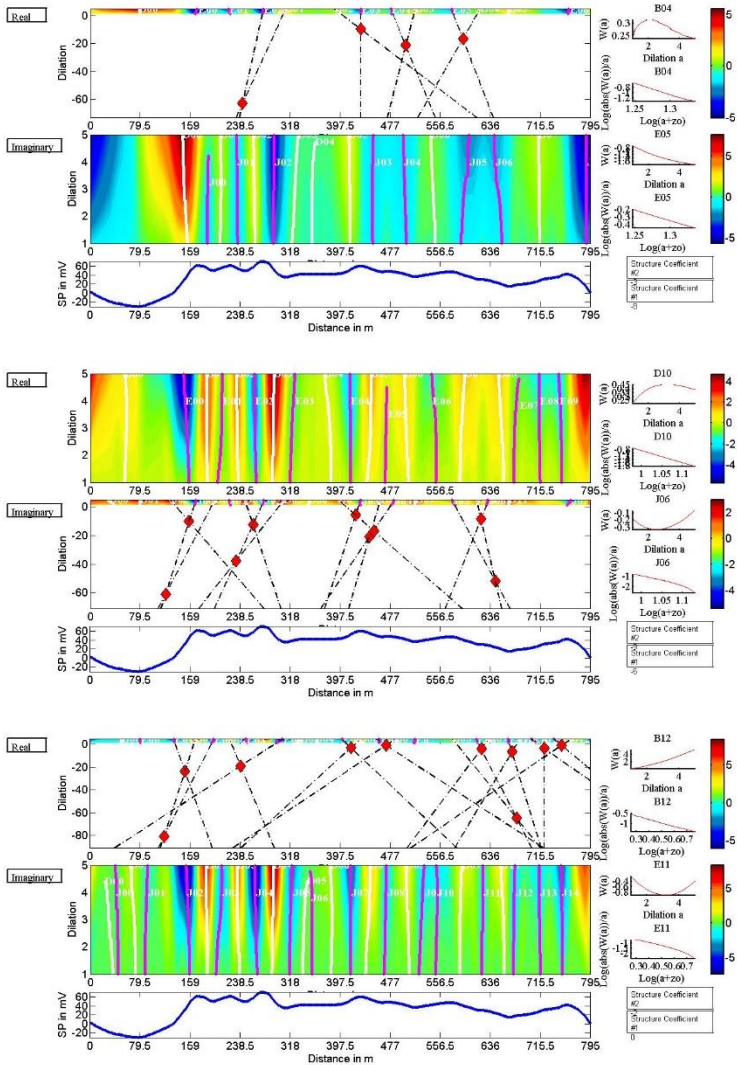
Gambar 21. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 3 *Phase* dan *Modulus* a. Turunan pertama Vertikal (V1), b. Turunan kedua Vertikal (V2), dan c. Turunan ketiga Vertikal (V3)



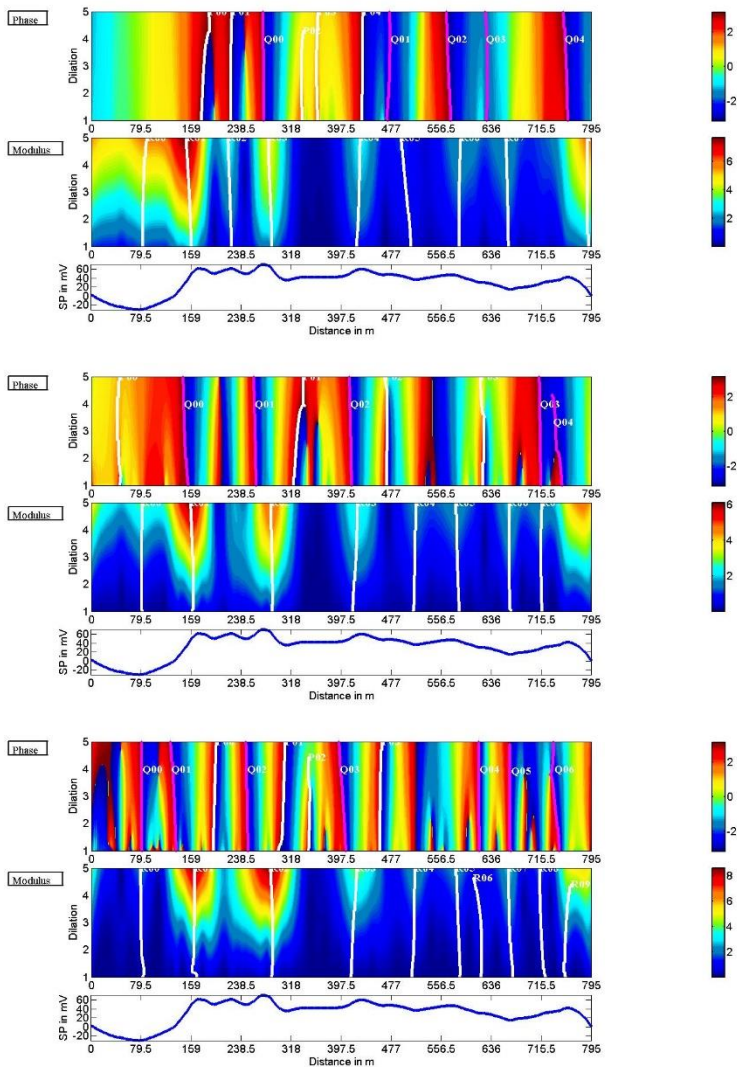
Gambar 22. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 5 *Real* dan Imajiner a. Turunan pertama Horizontal (H1), b. Turunan kedua Horizontal (H2), dan c. Turunan ketiga Horizontal (H3)



Gambar 23. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 5 *Phase* dan *Modulus* a. Turunan pertama Horizontal (H1), b. Turunan kedua Horizontal (H2), dan c. Turunan ketiga Horizontal (H3)



Gambar 24. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 5 *Real* dan *Imajiner* a. Turunan pertama Vertikal (V1), b. Turunan kedua Vertikal (V2), dan c. Turunan ketiga Vertikal (V3)



Gambar 25. Analisa posisi dan kedalaman anomali Lintasan 3 *Phase* dan *Modulus* a. Turunan pertama Vertikal (V1), b. Turunan kedua Vertikal (V2), dan c. Turunan ketiga Vertikal (V3)

Biodata Penulis

Penulis dilahirkan di Surabaya, 02 April 1995, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Pucang II Sidoarjo, SMPN 1 Sidoarjo dan SMAN 3 Sidoarjo. Setelah lulus dari SMAN tahun 2013, Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN

Undangan dan terdaftar dengan NRP 1113100019. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan organisasi mahasiswa. Beberapa organisasi yang ditekuni penulis yaitu sebagai staf Departemen Big Even Physics Summit HIMASIKA ITS (2014-2015), staf ahli Departemen Big Even Physics Summit HIMASIKA ITS (2015-2016), Sekertaris Departemen Big Even AAPG (2016). Penulis juga pernah menjadi Asisten Dosen Fisika Dasar I dan Fisika Dasar II. Penulis juga aktif mengikuti berbagai kegiatan ilmiah maupun non-ilmiah. Bila ada kritik dan saran, pembaca dapat berkirim pesan ke:

raayhansh@gmail.com

“DIFFICULT ROADS OFTEN LEAD TO BEAUTIFUL DESTINATIONS”